

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merencanakan dan merealisasikan sebuah robot *line follower* ini, maka dibutuhkan pemahaman tentang berbagai hal yang mendukung sistem ini. Pemahaman ini akan bermanfaat untuk merancang perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi robot *line follower*, mikrokontroler atmel AVR ATmega8, mikrokontroler atmel AVR ATmega16, sensor photodiode, multiplexer, motor DC, *Fuzzy Logic Control* (FLC), *Pulse Width Modulation* (PWM).

2.1 Robot Line Follower

Robot *line follower* atau robot pengikut garis adalah suatu jenis robot yang pergerakannya dengan mendeteksi garis sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain. Robot *line follower* yang digunakan dalam laporan ini adalah robot beroda dengan sistem *differensial drive*. Sistem *differensial* merupakan sistem penggerak menggunakan dua buah roda yang dikopel motor yang dapat digerakkan secara terpisah. Untuk itu diperlukan suatu sistem kendali yang dapat mengolah data yang di masukkan dalam sistem kontrolernya menjadi data keluaran yang digunakan untuk mengatur gerak robot. Kontroler berfungsi untuk mengatur kecepatan dari masing-masing motor penggerak sehingga dihasilkan gerakan robot yang mudah diatur menggunakan metode *fuzzy logic control*.

2.2 Mikrokontroler Atmel AVR ATmega8

Secara umum, mikrokontroler adalah suatu *Integrated Circuit* (IC) yang memiliki kemampuan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar (*input*), dan berdasarkan algoritma yang dibentuk menjadi suatu program tertentu. Pada dasarnya mikrokontroler memiliki mikroprosesor, *timer*, *counter*, perangkat I/O dan internal memori.

Sedangkan ATmega8 menurut *datasheet* adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berarsitektur AVR RISC yang memiliki 8K *bytes ISP Flash*. Dengan

mengeksekusi instruksi dalam *clock* yang sangat cepat, ATmega8 memiliki *throughput* mendekati 1 *Million Instruction Per Second* (MIPS) per MHz, yang memungkinkan perancang sistem mengoptimalkan konsumsi daya terhadap kecepatan pemrosesan.

Sebagai suatu sistem kontrol mikrokontroler ATmega8 bila dibandingkan dengan mikroprosesor memiliki kemampuan dan segi ekonomis yang bisa diandalkan karena dalam mikrokontroler sudah terdapat *Random Access Memory* (RAM) dan *Read Only Memory* (ROM) sedangkan mikroprosesor didalamnya tidak terdapat keduanya. Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikrokontroler ATmega8 adalah sebagai berikut :

- Sebuah CPU 8 bit dengan menggunakan teknologi dari Atmel.
- Jalur dua arah (*bidirectional*) yang digunakan sebagai saluran masukan atau keluaran yang dikontrol oleh *register Double Data Rate* (DDR).
- Dua buah *timer/counter* 8 bit dan sebuah *timer/counter* 16 bit.
- 23 jalur *programmable I/O*.
- *Analog to Digital Converter* (ADC) 10-bit dan *Analog comparator* di dalam chip.
- Osilator internal dan rangkaian pewaktu.
- Sebuah komunikasi serial *Universal Synchronous Asynchronous serial Receiver and Transmitter* (USART) yang dapat diprogram.
- Sebuah *master/slave* serial *Serial Peripheral Interface* (SPI) yang dapat diprogram.
- Sebuah *Two Wire Serial Interface*.

Masing-masing pin mikrokontroler ATmega8 mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing pin mikrokontroler ATmega8, perancangan aplikasi mikrokontroler ATmega8 akan lebih mudah dan maksimal. ATmega8 mempunyai 28 pin, susunan masing-masing pin ditunjukkan dalam Gambar 2.1.

(RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL)
(RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA)
(TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3)
(INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2)
(INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1)
(XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK)
(T1) PD5	11	18	PB4 (MISO)
(AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2)
(AIN1) PD7	13	16	PB2 (\overline{SS} /OC1B)
(ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A)

Gambar 2.1 Konfigurasi Pin ATmega8
(ATMEL, 2010)

Fungsi kaki-kaki pin dalam ATmega8 sesuai dengan *data sheet* ATmega8 antara lain sebagai berikut:

- *Port B* (Pin B0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus *Port B* diantaranya adalah: *Port B0* {ICP (*Timer/counter input capture pin*)}, *Port B1* {OC1A (*Timer/counter 1 output compare A match output*)}, *Port B2* yang bisa digunakan sebagai \overline{SS} (*SPI slave select input*) atau OC1B (*Timer/counter 1 output compare B match output*), *Port B3* yang bisa digunakan sebagai MOSI (*SPI bus master output/slave input*) atau OC2 (*timer/counter 2 compare match output*), *Port B4* {MISO (*SPI bus master input/slave output*)}, *Port B7* {SCK (*SPI bus serial clock*)}, *Port B5* {SCK (*SPI bus serial clock*)}, *Port B6* (XTAL1 & TOSC1 (*Timer Oscilator pin1*)), dan *Port B7* (XTAL2 & TOSC2 (*Timer Oscilator pin2*)).
- *Port C* (Pin C0..5), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus *Port C* adalah sebagai ADC (*input ADC channel 0..5*), selain itu pada beberapa *Port* memiliki fungsi lain antara lain *Port C4* (SDA (*Two-Wire serial bus data input/output line*)), dan *Port C5* (SCL (*Two-Wire serial bus clock line*)).

- Pin C6 memiliki fungsi *RESET*, merupakan saluran dua masukan untuk mereset mikrokontroler dengan cara memberi masukan logika rendah.
- Port D (Pin D0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus dari Port D diantaranya adalah : Port D0 {RXD (USART input pin)}, Port D1 {TXD (USART output pin)}, Port D2 {INT0 (Eksternal interrupt 0 input)}, Port D3 {INT1 (Eksternal interrupt 1 input)}, Port D4 (T0 (timer/counter0 eksternal counter input) & XCK (USART eksternal clock input/output), Port D5 (T1 (timer/counter eksternal counter input)), Port D6 (AIN0 (Analog comparator positive input)) dan Port D7 (AIN1 (Analog comparator negative input)).
- Pin 7 VCC, merupakan masukan untuk catu daya positif DC sebesar 5 volt.
- Pin 8 GND, merupakan *ground* dari seluruh rangkaian.
- Pin B6 dan Pin B7 (XTAL2 dan XTAL1), merupakan saluran untuk mengatur pewaktuan sistem. Untuk pewaktuan dapat menggunakan pewaktuan internal maupun eksternal.
- Pin 21 AREF, merupakan pin referensi analog untuk masukan ADC.
- Pin 22 GND, merupakan *ground* dari ADC.
- Pin 20 AVCC, merupakan catu untuk perangkat ADC.

2.3 Mikrokontroler Atmel AVR Atmega16

ATMega162 merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur *Reduced Instruction Set Computer* (RISC). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. ATMega162 mempunyai 32 register *general-purpose*, *timer/counter* fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt* internal dan eksternal, *serial Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*. ATMega162 mempunyai ADC dan *Pulse Width Modulation* (PWM) internal. ATMega162 juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. Atmega162 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat

disainer sistem dapat mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Beberapa keistimewaan dari AVR ATmega162 antara lain:

1. *Advanced RISC Architecture*
 - *Most Single-clock Cycle Execution - 131 Powerful Instructions*
 - *General Purpose Working Registers (32 x 8)*
 - *Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz*
 - *On-chip 2-cycle Multiplier*
2. *Non-volatile Program and Data Memories*
 - *In-System Self-programmable Flash Endurance (16K Bytes): 1,000 Write/Erase Cycles*
 - *Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits In-System Programming by On-chip Boot Program True Read-While-Write Operation*
 - *EEPROM Endurance (512 Bytes): 100,000 Write/Erase Cycles*
 - *Internal SRAM : 1K Bytes*
 - *Up to 64K Bytes Optional External Memory Space*
 - *Programming Lock for Software Security*
3. *Peripheral Features*
 - *Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes*
 - *Two 16-bit Timer/Counters with Separate Prescalers, Compare Modes, and Capture Modes*
 - *Real Time Counter with Separate Oscillator*
 - *Six PWM Channels*
 - *Dual Programmable Serial USARTs*
 - *Master/Slave SPI Serial Interface*
 - *Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator*
 - *On-chip Analog Comparator*
4. *Special Microcontroller Features*
 - *Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection*
 - *Internal Calibrated RC Oscillator*
 - *External and Internal Interrupt Sources*

- Five Sleep Modes: Idle, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby

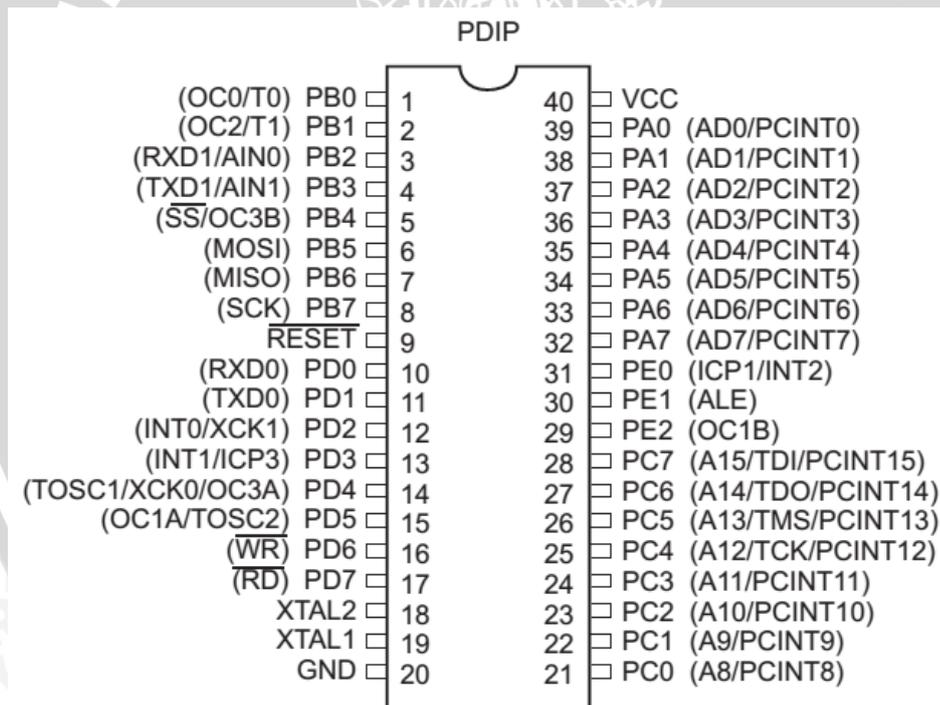
5. I/O and Packages

- Programmable I/O Lines (35)
- PDIP (40-pin), 44-lead TQFP, and 44-pad MLF

6. Operating Voltages

- ATmega162V : 1.8 - 3.6V
- ATmega162L : 2.7 - 5.5V
- ATmega162 : 4.5 - 5.5V

Untuk memaksimalkan performa dan paralelisme, ATmega162 menggunakan arsitektur Harvard (memori dan bus terpisah untuk program dan data). Gambar 2.2 menunjukkan pin-pin pada ATmega162 dengan kemasan 40-pin *Dual In-Line Package* (DIP).



Gambar 2.2 Pin-pin pada ATmega162 dengan Kemasan 40-pin *Dual In-Line Package* (DIP)
(Atmel, 2009: 2)

Adapun fungsi dari pin-pin yang terdapat pada Mikrokontroler ATmega162 dijelaskan sebagai berikut :

- VCC, suplai tegangan digital
- GND, pin *ground*

- PORT A (PA0 – PA7). PORT A merupakan port I/O 8-bit *bidirectional* yang dilengkapi dengan resistor *pull-up* internal (dapat dipilih untuk tiap *bit*). Selain sebagai port I/O, PORT A juga mempunyai fungsi lain seperti antarmuka memori eksternal dan pin *change interrupt*.
- PORT B (PB0 – PB7). PORT B merupakan port I/O 8-bit *bidirectional* dengan resistor *pull-up* internal (dapat dipilih untuk tiap *bit*). Selain itu, PORT B juga mempunyai fungsi lain yaitu *Serial Peripheral Interface* (SPI), *Analog Comparator*, *input/output Timer/Counter*.
- PORT C (PC0 – PC7). PORT C merupakan port I/O 8-bit *bidirectional* dengan resistor *pull-up* internal (dapat dipilih untuk tiap *bit*). Selain itu PORT C juga mempunyai fungsi lain yaitu JTAG, antarmuka memori eksternal, dan pin *change interrupt*.
- PORT D (PD0 – PD7). PORT D merupakan port I/O 8-bit *bidirectional* dengan resistor *pull-up* internal (dapat dipilih untuk tiap *bit*). Selain itu PORT D juga mempunyai fungsi lain yaitu USART, *interupsi eksternal*, *strobe memori eksternal*, *timer/counter*.
- PORT E (PE0 – PE2) PORT E merupakan port I/O 3-bit *bidirectional* dengan resistor *pull-up* internal (dapat dipilih untuk tiap *bit*). Selain itu PORT E juga mempunyai fungsi lain yaitu *timer/counter*, *latch enable memori eksternal*, *interupsi eksternal*.
- RESET, berfungsi untuk mereset mikrokontroler jika diberikan sinyal *active low* dalam selang waktu tertentu.
- XTAL1, input ke *inverting oscillator* amplifiier dan ke rangkaian detak internal.
- XTAL2, output dari *inverting oscillator amplifiier*.

Universal synchronous dan *asynchronous* pemancar dan penerima *serial* adalah suatu alat komunikasi serial sangat fleksibel. Mikrokontroler ATmega162 memiliki dua buah *port* USART untuk komunikasi *serial*, yaitu USART0 dan USART1. Fasilitas komunikasi serial USART mikrokontroler ini memiliki fitur sebagai berikut:

- *Operasi full duplex* (register penerima dan pengirim *serial* dapat berdiri sendiri).

- Operasi *Asynchronous* atau *synchronous*.
- *Master* atau *slave* mendapat *clock* dengan operasi *synchronous*.
- Pembangkit *baud rate* dengan resolusi tinggi.
- Dukung *frames serial* dengan 5, 6, 7, 8 atau 9 *data bit* dan 1 atau 2 *stop bit*.
- Tahap *odd* atau *even parity* dan *parity check* didukung oleh *hardware*.
- Pendeteksian data *overrun*.
- Pendeteksi *framing error*.
- Pemfilteran gangguan (*noise*) meliputi pendeteksian *bit false start* dan pendeteksian *low pass filter* digital.
- Tiga *interrupt* terdiri atas *TX complete*, *TX data register empty*, dan *RX complete*.
- Mode komunikasi *multi-processor*.
- Mode komunikasi *double speed asynchronous*.

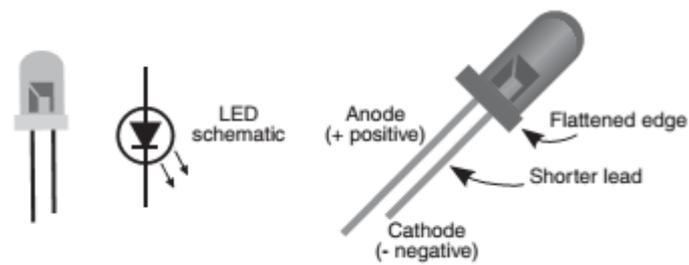
2.4 Sensor Photodioda

Light Emitting Diode (LED) adalah semikonduktor tipe khusus yang dirancang untuk memancarkan jumlah berlebihan cahaya. Kebanyakan LED direkayasa untuk menghasilkan warna tertentu dari cahaya, dan juga inframerah serta ultraviolet. LED sering digunakan dalam sirkuit tegangan DC daya rendah (<12volt). LED bisa rusak jika arus yang di alirkan melebihi batas maksimalnya. Maka dari itu, LED harus dirangkai dengan resistor untuk membatasi besar arus yang mengalir ke LED.

Banyak macam bentuk dan ukuran LED yang terdapat di pasaran. Yang paling umum adalah silinder dan dibentuk dengan kubah atas. Ukuran yang umum adalah:

- kecil (T1) : berdiameter 3mm
- standart (T1-3/4) : berdiameter 5mm
- Jumbo : berdiameter 10mm

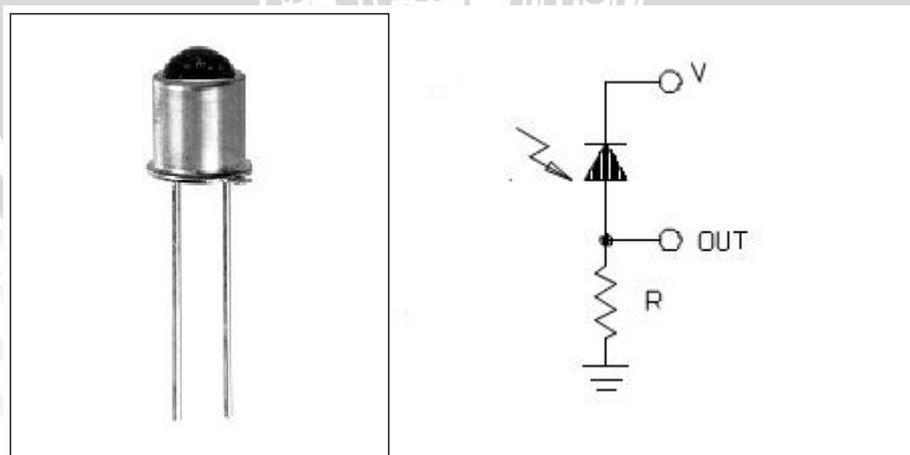
Outline dan simbol skematis untuk *Light Emitting Diode (LED)* ditunjukkan dalam Gambar 2.3



Gambar 2.3 Outline dan Simbol Skematis untuk *Light Emiting Dioda (LED)*.
(Gordon Mccomb, 2011: 396)

Polaritas LED dapat di amati dari dua kakinya. Kaki konektor LED yang lebih pendek merupakan katoda berpolaritas negatif(-), sedangkan anoda berpolaritas positif (+).

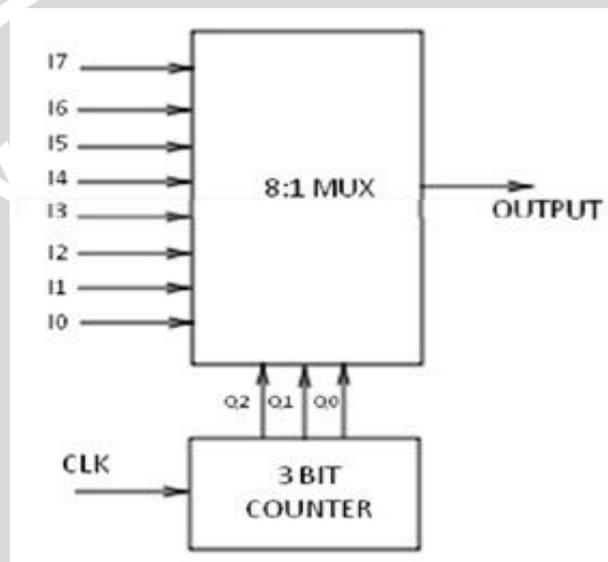
Photodiode adalah diode yang bekerja saat dibias mundur (*reverse bias*). Prinsip kerja dari photodiode merupakan kebalikan dari prinsip kerja LED. Photodiode akan mengalirkan arus melalui kutup anoda(+) menuju katoda(-) jika photodiode menerima cahaya. Photodiode dibuat dari semikonduktor dengan bahan yang populer adalah *silicon* (Si) atau *galium arsenida* (GaAs), dan yang lain meliputi InSb, InAs, PbSe. Material ini menyerap cahaya dengan karakteristik panjang gelombang mencakup: 2500 Å - 11000 Å untuk silicon, 8000 Å – 20,000 Å untuk GaAs. Gambar 2.4 menunjukkan photodiode yang terbuat dari bahan silikon tipe OP910.



Gambar 2.4 Photodiode Silikon Tipe OP910
(Optek Technology, Inc., 1998)

2.5 Multiplexer

Multiplexer (MUX) merupakan salah satu rangkaian kombinasional yang paling banyak digunakan dalam desain digital. Multiplexer adalah gerbang pemilih salah satu data dari beberapa masukan untuk satu keluaran. Tergantung pada kode digital yang diterapkan pada pemilihan salah satu masukan dari 2^n data masukan yang dipilih dan dikirim ke saluran keluaran tunggal. Multiplexer 8:1 ditunjukkan dalam Gambar 2.5 memiliki 8 masukan 1 keluaran membutuhkan 3 bit *counter* sinkron untuk pemilihan input. (P. Rajshekar & M.Malathi, 2011)



Gambar 2.5 MUX dengan *Counter Sinkron*
(P. Rajshekar & M.Malathi, 2011)

2.6 Motor DC

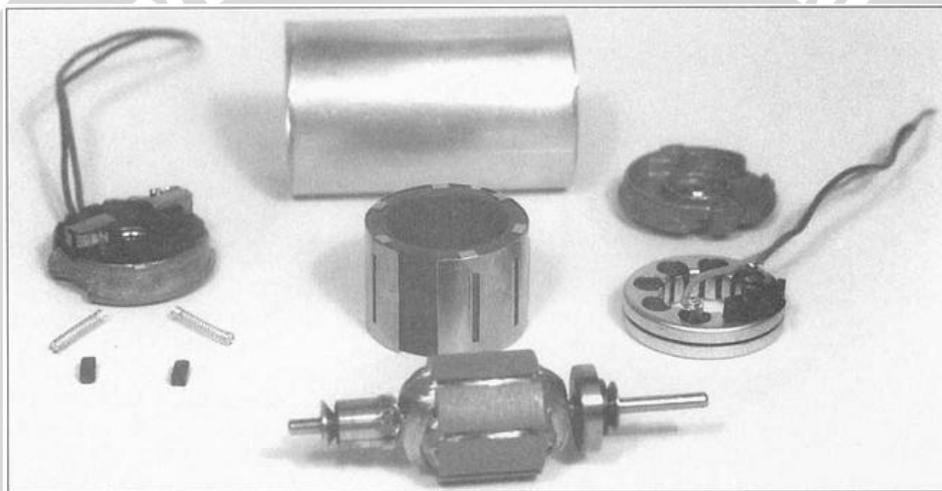
Motor arus searah atau *Direct Current* (DC) dengan magnet permanen banyak ditemukan dalam berbagai macam aplikasi daya rendah. Kumparan medan digantikan oleh magnet permanen, sehingga konstruksinya lebih sederhana.

Motor DC magnet permanen tidak memerlukan eksitasi eksternal dan disipasi daya untuk menciptakan medan magnet dalam mesin. Ruang yang dibutuhkan yang dibutuhkan mesin magnet permanen mungkin lebih kecil dari pada mesin yang menggunakan kumparan medan. Dengan demikian mesin magnet permanen mungkin lebih kecil, dan dalam beberapa kasus lebih murah.

Sebagai alternatif, mesin magnet permanen DC tergantung pada keterbatasan dari magnet itu sendiri. Ini termasuk resiko demagnetisasi karena

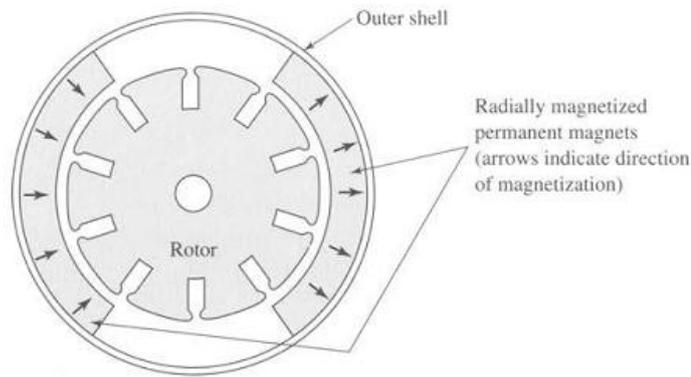
arus berlebih dalam gulungan motor atau karena *overheating magnet*. Selain itu, magnet permanen agak terbatas dalam besarnya kerapatan fluks celah udara yang dapat dihasilkan. Namun, dengan pengembangan bahan magnetik baru seperti samarium-kobalt dan neodmium-besi-boron, karakteristik tersebut menjadi kurang dan kurang membatasi untuk desain mesin magnet permanen.

Tidak seperti karakteristik struktur mesin DC dengan eksitasi medan eksternal, motor magnet permanen seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6 khususnya memiliki struktur stator halus yang terdiri dari shell silinder (atau jumlah pecahannya) dengan ketebalan bahan magnet permanen termagnetisasi dalam arah radial. (Fitzgerald, 2003:384)



Gambar 2.6 Bagian-bagian Motor DC Magnet Permanen. (Buehler Products Inc.)
(Fitzgerald, 2003 : 384)

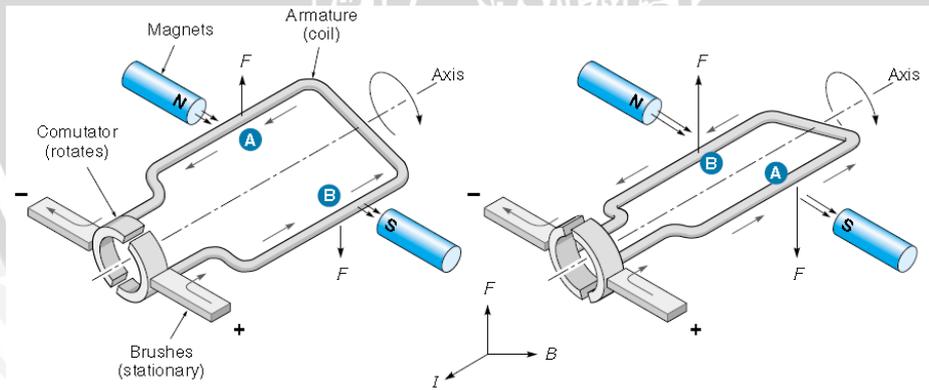
Seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.7, dimana panah menunjukkan arah magnetisasi. Rotor dalam Gambar 2.7 memiliki slot belitan dan memiliki komutator dan sikat, seperti di semua mesin DC. Perhatikan juga bahwa kulit terluar di motor ini memiliki tujuan ganda: terbuat dari bahan magnetik dan dengan demikian berfungsi sebagai jalur kembali untuk fluks magnetik juga sebagai dukungan untuk magnet. (Fitzgerald, 2003 : 386)



Gambar 2.7 Penampang Motor Magnet Permanen yang Khas. Panah menunjukkan arah magnetisasi dalam magnet permanen. (Fitzgerald, 2003 : 386)

Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum Lorentz. Apabila kumparan rotor dengan panjang L di catu tegangan DC melalui sikat (*brushes*) dan karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka pada kumparan rotor akan mengalir arus i . Arus yang mengalir pada kumparan akan menimbulkan medan magnet B sehingga timbul gaya sebesar F yang mengakibatkan motor mempunyai torsi untuk memutar beban. (Kilian, 1996)

Prinsip kerja motor DC ditunjukkan dalam Gambar 2.8



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Motor DC (Kilian, 1996)

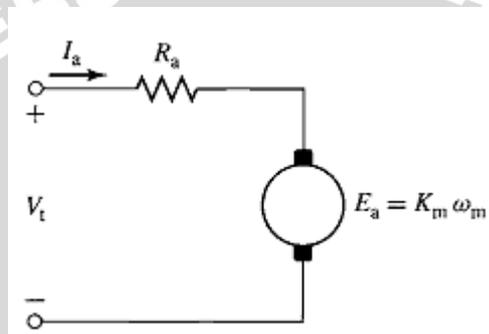
$$F = B i L \tag{2.1}$$

Dimana :

- F = gaya Lorentz (N)
- B = kerapatan fluks magnet (Wb)
- L = panjang konduktor (M)
- I = arus listrik (A)

Bagian *commutator* berfungsi sebagai penyearah mekanik. Fluksi magnet yang ditimbulkan magnet permanen disebut medan magnet motor. Dalam Gambar 2.8, arah fluks magnetic adalah dari kiri ke kanan. Adapun gaya yang bekerja pada penghantar b adalah ke atas, sementara gaya yang bekerja pada penghantar a adalah ke bawah. Gaya-gaya yang bekerjasama kuatnya, sehingga terdapat kopel yang bekerja pada kawat sehingga lilitan jangkar dapat berputar. Setelah berputar 180° arah arus berbalik, pada saat itu penghantar a dan b bertukar tempat. Akibatnya arah gerak putaran tidak berubah. (Kilian, 1996)

Sedangkan rangkaian ekivalen motor DC magnet permanen ditunjukkan dalam Gambar 2.9



Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen Motor DC Magnet Permanen (Fitzgerald, 2003 ; 389)

Persamaan kecepatan – tegangan pada mesin DC dapat ditulis dengan rumus $E_a = K_a \Phi_d \omega_m$ dimana Φ_d merupakan fluksi disepanjang lilitan dan K_a adalah konstanta geometri. Karena pada mesin DC magnet permanen Φ_d konstan, maka;

$$E_a = K_m \omega_m \tag{2.2}$$

Keterangan:

- E_a = tegangan jangkar (V)
- K_m = konstanta torsi motor
- ω_m = putaran rotor (rpm)

Dimana,

$$K_m = K_a \Phi_d \tag{2.3}$$

- K_a = konstanta geometri motor
- Φ_d = fluksi (Wb)

K_m dikenal sebagai konstanta torsi motor, dan merupakan fungsi dari geometri motorik dan sifat magnetnya.

Sehingga torsi motor dapat ditulis dalam persamaan 2.4 berikut

$$T_{mech} = \frac{E_a I_a}{\omega_m} = K_m I_a \quad (2.4)$$

T_{mech} = torsi motor (Nm)

Dengan kata lain, torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen diperoleh dari perkalian antara konstanta torsi dan arus jangkar. (Fitzgerald, 2003:389)

2.7 Fuzzy Logic Control

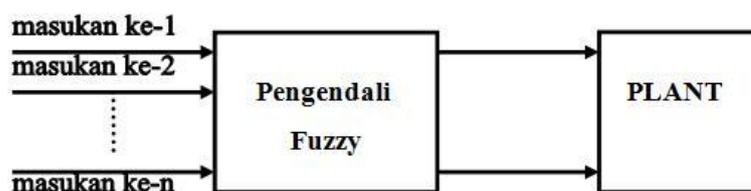
Fuzzy secara harfiah berarti samar, sedangkan kebalikannya dalam hal ini adalah *crisp* yang secara harfiah berarti tegas. Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam nilai terukur tertentu.

Tahun 1965 L.A. Zadeh memodifikasi teori himpunan yang disebut himpunan kabur (*fuzzy Set*). Himpunan *fuzzy* di dasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval [0,1]. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu nilai dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu hal tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar dan masih ada nilai-nilai yang terletak diantaranya.

Sejak tahun 1982 pengendalian berbasis logika *fuzzy* mengalami perkembangan pesat, terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian masalah kendali yang bersifat tak linier, sulit dimodelkan, berubah karakteristiknya terhadap waktu (*time varying*) dan kompleks (Sivanandam, 2006).

2.7.1 Struktur Dasar Fuzzy Logic Control

Dalam sistem pengendalian dengan logika *fuzzy* dilibatkan suatu blok pengendali yang menerima satu atau lebih masukan dan mengumpankan satu atau lebih keluaran ke plant atau blok lain sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.10



Gambar 2.10 Fuzzy Logic Control (Coughanowr,1991)

Komponen utama penyusun kontrol logika *fuzzy* adalah unit fuzzifikasi, *fuzzy inference*, dan unit defuzzifikasi. Basis pengetahuan terdiri dari dua jenis (Yan, J., 1994).

2.7.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota-anggota himpunan *fuzzy*. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan, yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy*.

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval [0,1]. Secara matematika hal ini dinyatakan dengan :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \tag{2.5}$$

(Kuswadi, 2000)

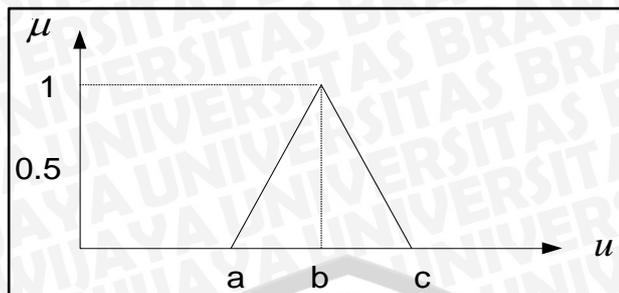
1. Fungsi keanggotaan bentuk segitiga *triangular*

Definisi fungsi triangular sebagai berikut:

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u - a}{b - a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c - u}{c - b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \tag{2.6}$$

Fungsi keanggotaan *tringular* ditunjukkan dalam Gambar 2.11





Gambar 2.11 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular
(Yan, J., 1994)

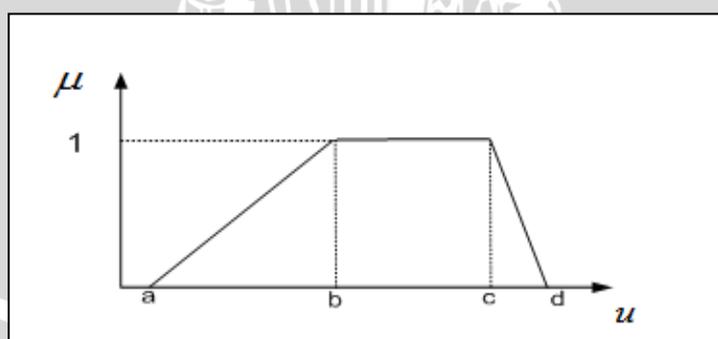
Fungsi keanggotaan *triangular* ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai proporsional terhadap nol maupun satu.

2. Fungsi keanggotaan bentuk trapesium

Definisi fungsi trapesium sebagai berikut :

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 0 & d \leq u \end{cases} \quad (2.7)$$

Fungsi keanggotaan bentuk trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium
(Yan, J., 1994)

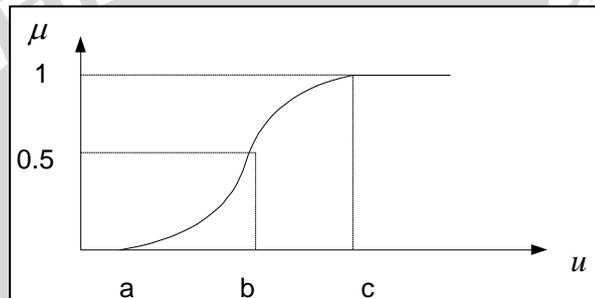
3. Fungsi keanggotaan bentuk S

Definisi fungsi-S adalah sebagai berikut :

$$S(u,a,b,c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & a \leq u \leq b \\ 1-2\left(\frac{u-a}{c-a}\right)^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (2.8)$$

$$b = \frac{(a+c)}{2}$$

Bentuk fungsi keanggotaan bentuk S ditunjukkan dalam Gambar 2.13



Gambar 2.13. Fungsi Keanggotaan Bentuk S
(Yan,J., 1994 : 18)

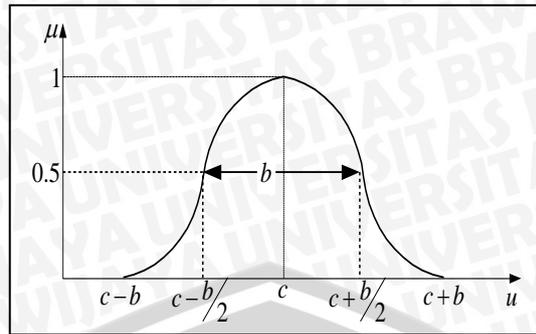
Fungsi keanggotaan bentuk S ini digunakan bila diinginkan himpunan fuzzy mempunyai nilai kebenaran mendekati nol dan satu lebih banyak.

4. Fungsi keanggotaan bentuk π

Definisi fungsi-π adalah sebagai berikut:

$$\pi(u; a, b, c) = \begin{cases} S(u; c - b, c - \frac{b}{2}, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c, c + \frac{b}{2}, c + b) & u \geq c \end{cases} \quad (2.9)$$

Bentuk fungsi keanggotaan bentuk π ditunjukkan dalam Gambar 2.14



Gambar 2.14. Fungsi Keanggotaan Bentuk π
(Yan, J.,1994 : 19)

Fungsi keanggotaan bentuk π digunakan jika diinginkan elemen himpunan *fuzzy* memiliki nilai kebenaran mendekati nol lebih banyak.

2.7.3 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic controller adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel input ke variabel output dengan pernyataan *If - Then*.

Kontroler ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses defuzzifikasi.

2.7.3.1 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-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. Proses ini disebut fuzzifikasi (Yan,1994). Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut:

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \tag{2.10}$$

dengan:

x_0 = nilai *crisp* variabel masukan

x = himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi

fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi menggunakan :

1. Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
2. Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah (*rules*).
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesium.

(Yan, J., 1994)

2.7.3.2 Kaidah Aturan *Fuzzy* (*Fuzzy Rule*)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis *fuzzy*, aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk aturan “ IF – THEN”. Untuk sebuah sistem *Multi Input Single Output* (MISO) basis aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk seperti berikut ini,

Rule 1 IF X is A_1 AND Y is B_1 THEN Z is C_1

Rule 2 IF X is A_2 AND Y is B_2 THEN Z is C_2

·
·
·

Rule n IF X is A_n AND Y is B_n THEN Z is C_n

Dengan X, Y, Z merupakan variabel linguistik, dimana X dan Y merupakan variabel masukan, dan Z merupakan variabel keluaran sistem. A_n , B_n , dan C_n merupakan nilai linguistik dari X, Y, dan Z (Lee, 1990).

2.7.3.3 Metode Inferensi

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran.

1. Inferensi MAX-MIN

Pada metode Max–Min aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*. Persamaan aturan minimum adalah

$$\mu_{C'} = \bigcup_1^n \alpha_i \wedge \mu_{Ci} \quad (2.11)$$

dengan $\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$

Sebagai contoh, terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

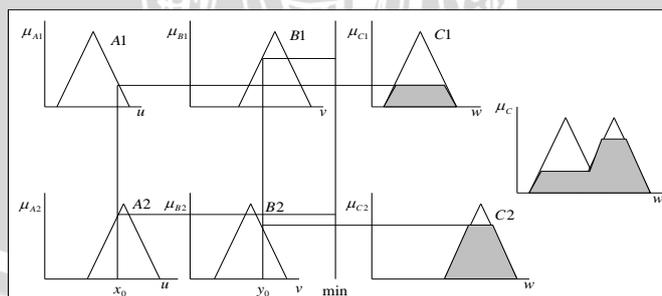
Pada metode penalaran MAX-MIN fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan

$$\mu_{C'}(W) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \quad (2.12)$$

dimana $\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$ (2.13)

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.14)$$

Lebih jelas metode ini dideskripsikan dalam Gambar 2.15



Gambar 2.15 Inferensi *Fuzzy* dengan Metode MAX-MIN
(Yan, J., 1994)

2. Inferensi MIN-MAX

Metode inferensi MIN-MAX merupakan kebalikan dari inferensi MAX-MIN. Pada metode inferensi MIN-MAX implikasi fuzzy menggunakan operasi maksimum. Dalam literatur untuk operasi komposisi $B = A \circ R$, di mana A adalah input, atau yg didefinisikan pada semesta X, B adalah output, atau konsekuen yang didefinisikan pada semesta Y dan R adalah kaitan hubungan karakteristik fuzzy antara input tertentu (x) dan hasil tertentu (y). Fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan:

$$\mu_B(y) = \min_{x \in X} \{ \max[\mu_A(x), \mu_R(x, y)] \} \quad (2.15)$$

(J.Ross, Timothy., 2004)

2.7.3.4 Metode Defuzzifikasi *Center Of Gravity* (COG)

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data fuzzy yang dihasilkan dari proses inferensi (Yan, J., 1994). Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut :

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2.16)$$

dengan:

- y : aksi kontrol fuzzy
- y_0 : aksi kontrol crisp
- defuzzifier : operator defuzzifikasi

Metode *Center Of Gravity* (COG) didefinisikan sebagai berikut:

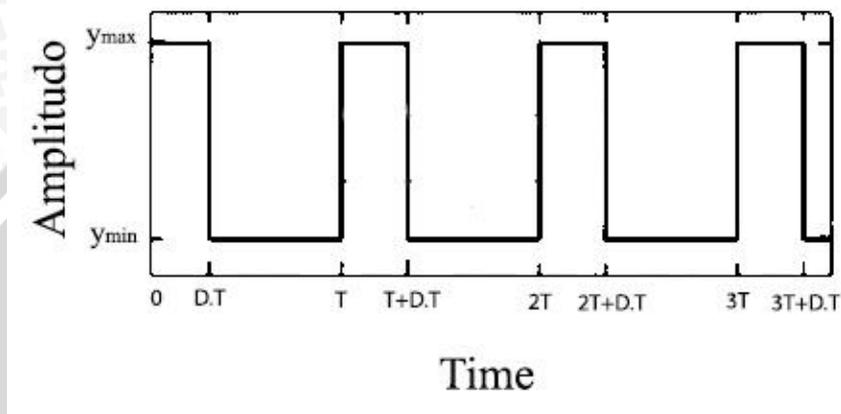
$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.17)$$

dengan:

- U = Keluaran
- w_i = Bobot nilai benar w_i
- u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran
- n = Banyak derajat keanggotaan

2.8 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) menggunakan gelombang kotak dengan *duty cycle* tertentu menghasilkan berbagai nilai rata-rata dari suatu bentuk gelombang. Jika kita menganggap bentuk gelombang kotak $f(t)$ dengan nilai batas bawah y_{min} , batas atas y_{max} dan siklus kerja atau *duty cycle* (D), seperti dapat dilihat dalam Gambar 2.16



Gambar 2.16 Gelombang kotak yang memiliki y_{max} , y_{min} dan D
(Andrianto, H., 2008 : 137)

Nilai rata-rata dari bentuk gelombang pada Gambar 2.16 adalah :

$$y = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.18)$$

Jika $f(t)$ adalah gelombang kotak, maka nilai y_{max} adalah dari $0 < t < D.T$ dan nilai y_{min} dari $D.T < t < T$. Dari pernyataan tersebut didapat :

$$y_{rata-rata} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{D.T} y_{max} dt + \int_{D.T}^T y_{min} dt \right) \quad (2.19)$$

$$= \frac{D.T y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} \quad (2.20)$$

$$= D.y_{max} + (1 - D) y_{min} \quad (2.21)$$

Persamaan 2.21 dapat di sederhanakan dalam berbagai kasus dimana,

$$y_{min} = 0 \quad (2.22)$$

sehingga

$$y_{rata-rata} = D.y_{max} \quad (2.23)$$

Dari persamaan 2.23 terlihat jelas bahwa nilai rata-rata dari sinyal secara langsung bergantung pada nilai *duty cycle* (D).

(Andrianto, H., 2008 : 138)