Jurnal Teknik Elektro Vol. 7 No. 2
Juli - Desember 2015

Aplikasi *Fuzzy Logic* untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATMega8535 dengan Sensor *Photodioda*

Mohamad Nadhif dan Suryono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
nadhif_muhammad@yahoo.co.id

Abstrak— Perkembangan teknologi kontrol mengalami banyak kemajuan dari kontrol konvensional ke kontrol otomatik sampai ke kontrol cerdas. Logika *fuzzy* digunakan sebagai sistem kontrol, karena proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan.Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari dan mengaplikasikan metode logika *fuzzy*pada mikrokontroler ATMega8535, untuk megendalikan kecepatan motor DC serta sebagai kontrol gerak Robot *Line Follower*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode Penelitian dan Pengembangan (*R&D*).Pengujian secara global terbagi menjadi tiga yaitu pengujian sensor, pengujian PWM dan pengujian kontrol logika *fuzzy*. Output *fuzzy* kontroler adalah perintah kendali yang diberikan ke motor DC. Pada sistem pengendalian motor DC ini menggunakan metode Mamdani. Sistem kendali dirancang dengan menggunakan dua buah masukan yang berupa *Error* dan *DeltaError*. Kedua input akan diproses oleh *fuzzylogic controller* (FLC) untuk mendapatkan nilai output berupa sinyal PWM untuk mengontrol motor DC. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem kendali logika *fuzzy* dengan mikrokontroler ATMega8535 dengan sensor *photodioda* dapat mengontrol kecepatan putar motor DC. Selain itu, metode logika *fuzzy* dapat di implementasaikan pada kontrol gerak Robot *Line Follower*. Saran untuk peneliti selanjutnya agar menggunakan himpunan output lebih banyak sehingga output yang dihasilkan menjadi lebih halus.

***Kata kunci*— kontrol, logika fuzzy, motor DC**

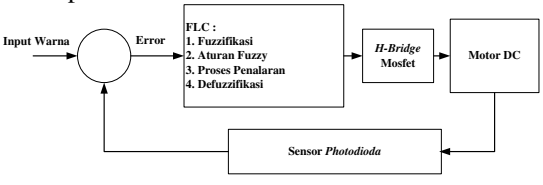
I. PENDAHULUAN

Motor DC (*Direct Current*) atau motor arus searah termasuk dalam kategori jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam lingkungan industri, peralatan rumah tangga hingga ke mainan anak-anak ataupun sebagai piranti pendukung sistem instrumen elektronik.Kelebihan motor DC memiliki torsi yang tinggi, tidak memiliki kerugian daya reaktif dan tidak menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik yang mensuplainya. Perkembangan teknologi komputer baik *hardware* maupun *software* terus berkembang seiring perkembangan teknologi elektronika yang semakin maju, demikian juga teknologi kontrol yang mengalami banyak kemajuan dari kontrol konvensional ke kontrol otomatik sampai ke kontrol cerdas. Sistem kontrol telah memainkan peranan penting dalam sains dan rekayasa modern.Ada beberapa metode dalam kontrol yang secara konvensional sering dipergunakan yaitu memakai kontrol proporsional (P), kontrol integral (I), kontrol derivative (D) ataupun gabungan dari kontrol-kontrol tersebut.Di lain pihak juga berkembang suatu teknologi kontrol yang tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil yang diinginkan melalui persamaan matematika. Tetapi dengan menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan jika-maka (*If-Then Rules*), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali logika *fuzzy*. Sistem kendali logika *fuzzy* digunakan sebagai aplikasi sistem kontrol, karena proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mempelajari dan mengaplikasikan metode logika fuzzypada mikrokontroler ATMega8535.
- Mempelajari dan mengaplikasikan metode logika fuzzyuntuk megendalikan kecepatan motor DC.
- Mempelajari dan mengaplikasikan metode logika fuzzysebagai kontrol gerak Robot Line Follower.

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development/R&D*). Tahap awal perancangan alat diperlukan gambaran awal tentang bagaimana sistem kerja dari alat. Sistem pengendalian menggunakan *close loop* dengan aplikasi *fuzzy controller*. Diagram blok dari sistem pengontrolan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok system

Untuk merancang pengendali dalam penelitian ini, maka diterapkan logika fuzzy pada pengendali motor DC dengan menggunakan metode Mamdani. Sistem kendali dirancang dengan dua buah masukan yang berupa Error yang merupakan selisih antara setpoin dengan pembacaan sensor photodioda dan Delta Error yang merupakan turunan pertama dari nilai Error. Kedua inputError dan DeltaError akan diproses oleh fuzzy logic controller (FLC) untuk mendapatkan nilai output berupa sinyal PWM untuk mengontrol kecepatan putar motor DC.

A. Pembentukan himpunan *fuzzy*

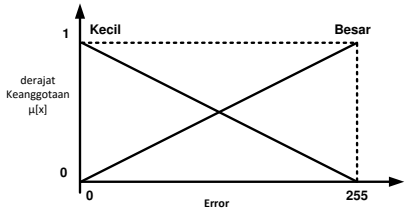
Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan, dilanjutkan dengan pembentukan himpunan fuzzy. Penentuan variabel dan semesta pembicaraan dari hasil pengambilan data dapat diperoleh pada Tabel 1.

TABEL I. VARIABEL DAN SEMESTA PEMBICARAAN INPUT OUTPUT

Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
Input	*Error*	[0 - 255]	*Error* warna
	Delta Error	[0 - 255]	Turunan pertama dari *Error*
Output	Motor DC	[0 - 1000]	Kecepatan Motor

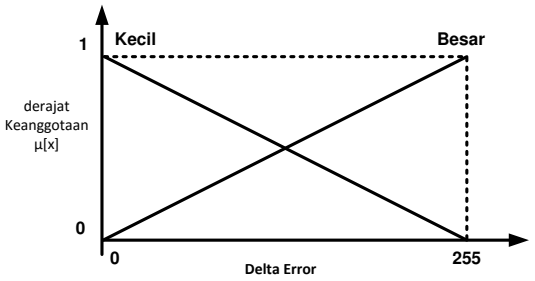
Dari data-data yang sudah didapatkan sebagai input untuk mengetahui hasil output, maka data tersebut dibuat sesuai dengan rentang tingkatan fuzzy.

Sinyal input error berupa nilai tegas (crisp) 0 sampai 255. Nilai tersebut diperoleh dari nilai minimum dan nilai maksimum ADC internal 8 bit pada mikrokontroler ATMega8535. Nilai tegas tersebut diubah menjadi himpunan-himpunan input fuzzy kecil dan besar, seperti pada Gambar 2 dibawah ini.



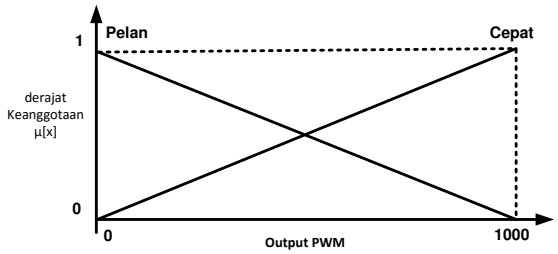
Gambar 2. Fuzzifikasi *input error*

Sinyal input delta error berupa nilai tegas (crisp) 0 sampai 255. Nilai tersebut diperoleh dari nilai turunan pertama minimum dan nilai maksimum ADC internal 8 bit pada mikrokontroler ATMega8535. Nilai tegas tersebut diubah menjadi himpunan-himpunan input fuzzy kecil dan besar, seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Fuzzifikasi *input delta error*

Sinyal Output PWM berupa nilai tegas (crisp) 0 sampai 1000. Nilai tersebut diperoleh dari nilai sinyal PWM 10 bit pada mikrokontroler ATMega8535. Nilai tegas tersebut diubah menjadi himpunan-himpunan input fuzzy pelan dan cepat, seperti pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Fuzzifikasi *output* PWM

B. Aplikasi fungsi implikasi

Menyusun basis aturan, yaitu aturan-aturan berupa implikasi-implikasi fuzzy yang menyatakan relasi antara variabel input dengan dengan variabel output. Pada penelitian ini menggunakan metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah min dengan bentuk sebagai berikut:

[R1] IF Error KECIL And Delta Error KECIL THEN Output PWM PELAN.

[R2] IF Error KECIL And Delta Error BESAR THEN Output PWM PELAN.

[R3] IF Error BESAR And Delta Error KECIL THEN Output PWM CEPAT.

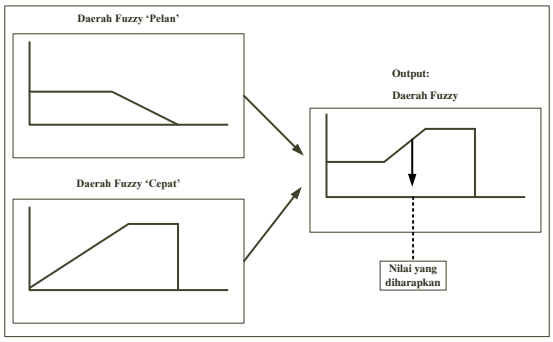
[R4] IF Error BESAR And Delta Error BESAR THEN Output PWM CEPAT.

C. Komposisi aturan

Apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu Metode max (maximum). Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya ke output.

D. Penegasan(*defuzzy*)

Masukan dari proses penegasan adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan real yang tegas. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai output seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses *defuzzy*

Defuzifikasi menggunakan metode centeroid. Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kerja atau tidaknya fungsi-fungsi yang telah dibuat serta kesesuaian hasil dengan yang sudah direncanakan. Pengujian dilakukan per blok untuk dapat mengetahui permasalahan di tiap blok.

Pada pengujian sensor photodioda dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara besarnya tegangan keluaran dari sensor Photodioda terhadap warna dari bidang pantul di lapangan. Konsep pemantulan sensor photodioda terhadap jalur garis di jelaskan sebagai berikut.

Gambar 6. Konsep Pemantulan LED di Lapangan

TABEL II. HASIL PENGUJIAN SENSOR PHOTODIODA

No	Warna	Data ADC (Decimal)	Pengukuran (Volt)
1		10	0,217
2		44	0,858
3		85	1,678
4		124	2,424
5		129	2,525
6		148	2,896
7		158	3,095
8		166	3,240
9		171	3,395
10		176	3,441
11		190	3,712
12		201	3,929

Pengujian nilai PWM dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan *output* yang mampu dilewatkan oleh rangkaian *driver* dari VCC sumber motor berdasarkan variatif nilai PWM yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur titik pengujian pada *output driver* motor menggunakan *voltmeter* dan pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa *Tachometer* sebagai alat ukur kecepatan rotasi motor per menit (RPM) dengan perubahan nilai pwm. Sumber tegangan yang digunakan sebesar 11,88 Volt DC.

TABEL III. HASIL PENGUJIAN NILAI PWM TERHADAP TEGANGAN OUTPUT

No	Variabel Pemotong (VP)	Duty Cycle 10bit (%)	Tegangan Teori (Volt)	Tegangan Motor (Volt)
1	0	0,00	0	0
2	50	4,89	0,58	2,20
3	100	9,78	1,16	2,90
4	150	14,66	1,74	3,49
5	200	19,55	2,32	4,04
6	250	24,44	2,90	4,59
7	300	29,33	3,48	5,13
8	350	34,21	4,06	5,65
9	400	39,10	4,64	6,05
10	450	43,99	5,22	6,71
11	500	48,88	5,80	7,31
12	550	53,76	6,38	7,88
13	600	58,65	6,97	8,43
14	650	63,54	7,55	8,96
15	700	68,43	8,13	9,5
16	750	73,31	8,71	10,05
17	800	78,20	9,29	10,54
18	850	83,09	9,87	11,13
19	900	87,98	10,45	11,53
20	950	92,86	11,03	11,46
21	1000	97,75	11,61	11,54
22	1023	100,00	11,88	11,41

Keterangan:
VP = *Variabel Pemotong*
TT = *Tegangan Teori*
TM= *Tegangan Motor*

Sedangkan pada pengujian kontrol logika *fuzzy*bertujuan untuk melihat hasil darimasing-masing program setelah diintegerasikan.Pengujian pada proses ini dilakukan untukmelihat hasil keluaran dari sistem *fuzzy* dengancara mengatur sinyal masukan kontroler sesuaidengan pembacaan sensor *photodioda*. Pengujianhanya dilakukan dengan menggunakan beberapa warna data sebagai percobaan.

TABEL IV. HASIL PEMBACAAN KELUARAN *FUZZY*

No	*Error*	*Delta Error*	*Output* PWM
1	10	0	334,83
2	44	0	359,68
3	85	0	419,75
4	124	0	493,14
5	129	0	502,94
6	148	0	539,85
7	158	0	558,66
8	166	0	573,20
9	171	0	581,98
10	176	0	590,51
11	190	0	612,73
12	201	0	628,15

B. Pembahasan

1) Pembahasan Sensor *Photodioda*: Untuk menguji nilai ADC pada Sensor Photodioda kita dapat melakukan perhitungan sebagai berikut:

Putih

$x = \left(\frac{y}{k}\right) ref$

$x = \left(\frac{0xD0}{0x100}\right) 5\ Volt$

$x = \left(\frac{10}{256}\right) 5\ volt$

$x = 0{,}19\ Volt$

Hitam

$x = \left(\frac{y}{k}\right) ref$

$x = \left(\frac{0xD5}{0x100}\right) 5\ Volt$

$x = \left(\frac{201}{256}\right) 5\ volt$

$x = 3{,}92\ Volt$

Dengan:
x = Nilai perhitungan
y = Nilai Pengukuran
ref = Nilai referensi (5 volt)

Dari pengukuran dan perhitungan tersebut terdapat *error* pengukuran sebesar $0{,}89\ volt$. *Error* sistem ini bisa dilihatdari data minimal dan maksimal dari perhitungan diatas, yaitu sebesar 0,19 volt dan 3,92 volt. Jadi error sistem atau error mekanik adalah:

$$errorsistem = Nilaiatkual(ref) - \sum pengukuran$$
$$errorsistem = ref - (minimal + maksimal)$$
$$errorsistem = 5 - (0{,}19 + 3{,}92)$$
$$errorsistem = 5 - 4{,}11$$
$$errorsistem = 0{,}89\ volt$$

2) Pembahasan Nilai PWM terhadap Tegangan Output dan Kecepatan Moto: PWM (Pulse Width Modulation)adalah salah satu teknik untuk mengatur kecepatan motor DC yang umum digunakan. Dengan menggunakan PWM dapat mengatur kecepatan dengan mudah. Teknik PWM untuk pengaturan kecepatan motor adalahdengan cara merubah-rubah besarnya pulsa duty cycle. Pulsa yang berubah ubah duty cycle-nya inilah yang menentukan kecepatan motor. Besarnya amplitudo dan frekuensi pulsa adalah tetap, sedangkan besarnya duty cycle berubah-ubah sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, semakin besar duty cylce maka semakin cepat pula kecepatan motor, dan sebaliknya semakin kecil duty cycle maka semakin pelan pula kecepatan motor.

Error pengukuran sebagai berikut:

$$Error(\%) = \frac{\sum \frac{|TT - TM|}{TT} x100\%}{n}$$
$$Error(\%) = \frac{971{,}53}{22}$$
$$Error(\%) = 44{,}16\%$$

3) Pembahasan Kontrol Logika *Fuzzy*: Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah nilai keluaran *fuzzy* hasil dariproses rule base evaluation dan proses *defuzzyfikas*i sudah sesuai dengan yang diharapkan pada program. Hasil keluaran *fuzzy* diperoleh dariproses penjumlahan keseluruhan momen setiap daerah kemudian dibagi dengan jumlah masing-masing luas setiap daerah. Metode fuzifikasi yang digunakanadalah centroid.

TABEL V. HASIL PENGUJIAN PROGRAM KONTROL LOGIKA FUZZY

No	*Error*	*Delta Error*	*Output* PWM	Matematis	MATLAB
1	10	0	334,83	340,79	332
2	44	0	359,68	362,74	358
3	85	0	419,75	420,04	419
4	124	0	493,14	495,10	493
5	129	0	502,94	504,90	503
6	148	0	539,85	538,85	540
7	158	0	558,66	557,62	559
8	166	0	573,20	571,21	574
9	171	0	581,98	579,96	583
10	176	0	590,51	588,44	592
11	190	0	612,73	611,88	614
12	201	0	628,15	625,52	630

Dari hasil tersebut dapat dilihat perbedaan pada output PWM yang memiliki hasil yang berbeda dengan hasil metematis maupun MATLAB. Dari data tersebut dapat diperoleh kesimpulan bahwa semakin kecil nilai error, maka semakin besar selisih hasil output PWM terhadap output secara matematis. Jika semakin besar nilai error, semakin besar selisih output secara matematis terhadap hasil output PWM. Begitu pula dengan output dengan pemograman MATLAB.

C. *Pengembangan (Development*)

Hasil dari penelitian ini merupakan suatu produk mikrokontrol dengan kontrol utama logika *fuzzy* sebagaikontrol pada motor DC dengan sensor *photodioda*. Pengembangan dan pengujian alat ini secara nyata dilakukan didua tempat, yaitu di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang sebagai lembaga riset dan Fornext Semarang sebagai lembaga pengembang robot edukasi.

Sebagai media dalam pengembangankontrol ini yaitu pada robot pengikut garis (*line follower robot*). Robot pengikut garis (*line follower robot*)merupakan suatu bentuk robot bergerak otonom yang mempunyai misi mengikuti suatu garis pandu yang telah ditentukan secara otonom.

Melalui penelitian ini, peneliti mengembangkansistem kendali logika *fuzzy* metode Mamdani sebagai kontrol robot pengikut garis (*line follower robot*).

TABEL VI. .BASIS ATURAN DALAM PERANCANGAN SISTEM

Error / Delta Error	N	Z	P
N	RM=pelan LM=cepat	RM=sedang LM=sedang	RM= cepat LM= pelan
Z	RM= pelan LM= cepat	RM=sedang LM=sedang	RM= cepat LM= pelan
P	RM= pelan LM= cepat	RM=sedang LM=sedang	RM= cepat LM= pelan

Dengan LM adalah kecepatan motor sisi kiri dan RM adalah kecepatan motor sisi kanan.

Dari aturan yang telah disusun diatas yang nantinya digunakan sebagai penentuan keputusan dalam output PWM untuk mengatur kecepatan motor pada robot pengikut garis (*line follower robot*). Dalam penelitian ini penyetelan yang dilakukan hanyalah batas kecepatan minimum dan batas kecepatan maksimum pada robot, sehingga robot dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kendali logika *fuzzy* dengan mikrokontroler ATMega8535 dan menggunakan sensor *photodioda* dapat mengontrol kecepatan putar motor DC. Hal tersebut dengan cara:pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi pada metode mamdani, komposisi Antar Aturan dan penegasan (*defuzzy*).
2. Metode logika *fuzzy* dapat di implementasaikan pada kontrol gerak Robot Line Follower, dengan cara sama seperti mengontrol kecepatan putar motor DC. Hanya saja dalam mengkontrol gerak Robot Line Follower terdapat dua variabel output, yaitu output kontrol motor kanan dan output motor kiri serta untuk variabel masukan setiap sensor *photodioda* diberi nilai berdasarkan posisi sensor.

REFERENSI

[1] Ali, Muhamad. 2004. Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab, Jurnal Edukasi Vol.1 No.1:1-8. Yogyakarta.

[2] Ashari, M.Ibrahim Dan Putu Steven Mendra. 2011. Otomatisasi Penukaran Kupon Doorprize dengan Tiga Hadiah Pilihan dan LCD sebagai Tampilannya Berbasiskan Mikrokontroler At89s8252, Jurnal Teknik Elektro Vol.2 No. 2. Malang.

[3] Bachri M., Samsul. 2004. Sistem Kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy pada Pengaturan Kecepatan Motor DC, Makara Teknologi, Vol.8 No. 1: 25-34. Surabaya: Universitas Jember

[4] Bejo, Agus. 2008. C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler Atmega8535. Yogyakarta: Graha Ilmu.

[5] Kusumadewi, Sri dan Hari Purnomo. 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*.Yogyakarta: Graha Ilmu.

[6] Mulyana, Agus dan Nasrudin. 2014. Games Puzzle Hijaiyah Elektronik Interaktif Berbasis Mikrokontroler DT-AVR Maxiduino. Vol. 1, No. 1. Unikom.

[7] Rizal, Muhammad. 2012. Rancangbangun dan Uji Kinerja Sistem Kontrol Irigasi Tetes pada Tanaman Strawberry (Fragaria Vesca L). Makasar: Universitas Hasanudin.

[8] Rochayati,Umi, dkk. 2012. *Inovasi Media Pembelajaran Sain Teknologi Di SmpBerbasis Mikrokontroler*. Volume 42, Nomor 1: 89-98. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

[9] Sukmadi, Tedjo. 2006. Estimasi Parameteradaptif Motor DC dengan Metode Algoritmagenetik, Transmisi Vol.11 No. 1: 28-34. Semarang: Universitas Diponegoro.

[10] Sutikno Dan Indra Waspada. Perbandingan Metode Defuzzifikasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Model Mamdani padaMotor DC. Semarang: Universitas Diponegoro.

[11] Suwintana, I Ketut. 2013. Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani Berbasis Web, Jurnal Matrix Vol.3 No.1. Bali: Politeknik Negeri Bali.

[12] Widiyantoro, Andreas, T. Sutojo Dan Sudaryanto. 2014. *Menerapkan Logika Fuzzy Mamdani untuk Menentukan Harga Jual Batik Vol.13 No.2: 69-74*. Semarang: Universitas Dian Nuswantoro.

[13] Winarno, Totok. 2009. *Aplikasi Fuzzy Logic Sebagai Kontrol Posisi Motor DC*. Malang: Politeknik Negeri Malang.

[14] Zain, Ruri Kartika. 2013. Sistem Keamanan Ruangan Menggunakan Sensor Passive Infra Red (PIR) dilengkapi Kontrol Penerangan pada Ruangan Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 dan Real Time Clock Ds1307. Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan Vol.6 No.1. Jakarta: UPI YPTK.