

# PERANCANGAN *CHIP* DAN SIMULASI SISTEM MESIN CUCI PAKAIAN DENGAN METODE *FUZZY LOGIC* PADA MIKROKONTROLER

Herro<sup>1</sup>, Eko Syamsuddin<sup>2</sup>, Joni Fat<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** This chip is designed to detect level and type of dirt in a washing material. The output of this chip is the optimum length of washing time. This design is in order to achieve energy and other resource saving. Inference system which was applied in this chip is Fuzzy Inference System. The inference method is Mamdani. Rules of composition used OR (union) operator. Defuzzification used Mean of Maximum (MOM) Method. We used Atmega8535 as the processor. We tested this chip by using a simulation. The input was simulated using voltage controller. The output of the chip was displayed using Light Emitting Diode (LED) and Liquid Crystal Display (LCD) M1632. LED displayed status, in other hand LCD displayed the output of the chip in detail. The output of this chip was crosschecked using simulated output by Matlab. The design of this chip was intended for washing machine with maximum capacity of 7 kilograms, and debit 41 liters. In the test that we had conducted, the output was closed to the output of simulation. So, we could conclude that this chip was working as we designed.

**KEYWORDS:** Fuzzy Logic, Fuzzy Control, Microcontroller ATmega8535

**ABSTRAK:** *Chip* ini dirancang untuk mendeteksi tingkat dan jenis kotoran bahan cucian. Keluarannya berupa lama waktu pencucian yang optimal sehingga diharapkan dapat melakukan penghematan energi mau pun sumber daya lainnya. Sistem inferensi yang diaplikasikan dalam *chip* ini adalah sistem inferensi fuzzy. Metode inferensi yang digunakan adalah Metode Mamdani. Komposisi aturan menggunakan operator OR (*union*), sedangkan untuk defuzzifikasi digunakan metode *Mean of Maximum* (MOM). *Chip* yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega8535. Pengujian *chip* dilakukan dengan simulasi. Masukan *chip* disimulasikan dengan menggunakan pengatur tegangan. Keluaran *chip* ditunjukkan dengan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) dan penampil *Liquid Crystal Display* (LCD) M1632. LED menampilkan status, sedangkan LCD menampilkan nilai keluaran *chip*. Nilai keluaran ini akan dicek silang dengan hasil simulasi dengan menggunakan Matlab. Rancangan *chip* ini dibatasi untuk tabung mesin cuci dengan kapasitas beban maksimum 7 kilogram dan debit air maksimum 41 liter. Dalam pengujian, keluaran oleh *chip* telah mendekati hasil dari simulasi Matlab. Dengan demikian, rancangan sistem pada *chip* dapat dikatakan bekerja dengan baik.

**KATA KUNCI:** Fuzzy Logic, Pengendali Fuzzy, Mikrokontroler ATmega8535

## PENDAHULUAN

Mesin cuci pakaian adalah sebuah mesin yang dirancang untuk membersihkan pakaian dan cucian rumah tangga lainnya seperti handuk dan sprei. Mesin cuci sangat diminati terutama bagi orang-orang yang tidak mempunyai banyak waktu untuk mencuci. Pada prinsipnya, proses pencucian pada mesin cuci terdiri atas dua tahap, yaitu proses pencucian dan proses pengeringan. Proses pencucian merupakan proses pelepasan kotoran yang menempel pada bahan cucian yang telah diluluhkan dalam rendaman air sabun, sedangkan proses pengeringan merupakan proses pembilasan bahan cucian dari sabun yang tersisa, pemerasan, dan mengeringkan bahan cucian. Pengguna mesin cuci biasanya memilih jangka waktu mencuci berdasarkan jumlah cucian yang ingin dicuci serta jenis dan tingkat kekotoran bahan cucian.

Survei dilakukan sebanyak dua kali yaitu di salah satu tempat *laundry* bahan cucian yang berada di kawasan Grogol dan pengguna mesin cuci pribadi yang memiliki mesin cuci otomatis. Survei ini bertujuan untuk mempelajari cara kerja mesin cuci yang ada saat ini dan melakukan perbandingan terhadap sistem yang dirancang. Mesin cuci pakaian otomatis dengan metode *fuzzy logic* yang ada saat ini sudah bisa memperkirakan lama waktu pencucian berdasarkan berat pakaian dan tingkat kekotoran. Kekurangan dari mesin cuci otomatis tersebut adalah tidak bisa mendeteksi kadar lemak, selain itu sabun juga dimasukkan secara manual. Berdasarkan hal ini, maka dirancang sebuah sistem untuk mengotomatisasi perkiraan waktu pencucian pada mesin cuci dengan metode *fuzzy logic* berdasarkan pada kadar lemak dan tingkat kekotoran serta takaran sabun dapat dilakukan secara otomatis. *Input* untuk kadar lemak dan tingkat kekotoran bisa didapatkan dengan menggunakan sensor optik, *infrared*, atau sejenisnya. Tingkat kekotoran bisa ditentukan oleh transparansi air cuci. Misalnya untuk bahan cucian yang kotor, sensor akan menganalisa tingkat kekeruhan dari air cuci untuk menentukan tingkat kekotorannya. Jenis kekotoran ditentukan oleh waktu kejenuhan atau waktu yang dibutuhkan untuk mencapai saturasi. Lemak pada bahan cucian kurang larut dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengambang dalam air dibandingkan kotoran.

Tujuan perancangan *chip* dan simulasi sistem mesin cuci dengan metode *fuzzy logic* pada mikrokontroler adalah untuk mengotomatisasi pengaturan lamanya waktu pencucian berdasarkan kadar lemak dan tingkat kekotoran bahan cucian yang diharapkan dapat memberi hasil pencucian yang optimal.

## KONSEP RANCANGAN

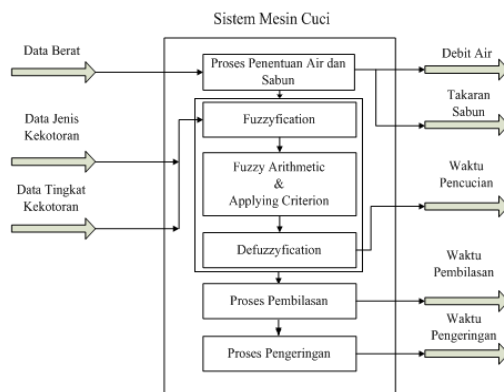
Sistem dimulai saat berat bahan cucian yang dimasukkan dalam mesin cuci telah didapatkan. Nilai berat ini diperoleh dari sensor muatan yang terpasang pada mesin cuci, di mana variabel berat tersebut dikirimkan ke mikrokontroler untuk dihitung banyak air dan takaran sabun yang diperlukan. Bilamana variabel berat sudah didapatkan, air dialirkan dan mesin cuci akan memutar motor agar kotoran cucian ikut larut di air sehingga sensor dapat memperkirakan jenis dan tingkat kekotoran bahan cucian berdasarkan kondisi air. Jenis kekotoran ditetapkan menurut kadar lemak pada bahan, sedangkan tingkat kekotoran ditentukan dari banyaknya kotoran di bahan. Sistem akan memperkirakan lama waktu pencucian berdasarkan data tersebut. Selanjutnya, sabun akan dimasukkan dan mesin cuci akan mulai menyalakan proses pencucian. Jika proses pencucian telah selesai dilakukan maka air akan

<sup>1</sup>. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

<sup>2</sup>. BPPT

dibuang dan diganti dengan air yang baru untuk melakukan proses pembilasan. Setelah proses ini selesai, sistem akan menjalankan proses pengeringan yang merupakan tahan akhir dari keseluruhan proses. Gambar 1 menunjukkan diagram blok dari sistem yang dirancang.

Sistem diimplementasikan dalam sebuah *chip* dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. Jadi sistem rancangan tidak diimplementasi dengan bagian-bagian mesin cuci lainnya. Fungsi sensor tidak dipermasalahkan dalam rancangan ini karena masukan sensor bagi sistem merupakan nilai normalisasi sehingga tidak perlu bergantung pada jenis sensor tertentu. *Output* sistem ditampilkan dengan *light emitting diode* (LED) dan *Liquid Control Display* (LCD).



■ Gambar 1. Diagram Blok Sistem

### Fuzzy Logic

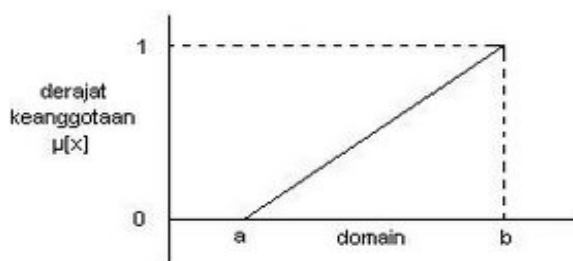
*Fuzzy logic* merupakan metode untuk menganalisis suatu sistem yang mengandung ketidakpastian *input* untuk menghasilkan *output* yang sesuai, yang bilamana diekspresikan dalam *binary* berarti memiliki rentang antara 0 dan 1. Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada 1965, dan dipresentasikan sebagai suatu cara pemrosesan data. Konsep *Fuzzy Logic* kemudian berhasil diaplikasikan dalam bidang kontrol oleh E.H. Mamdani [1].

### Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [1]. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Pendekatan fungsi tersebut antara lain sebagai berikut:

### Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaan digambarkan sebagai suatu garis lurus. Representasi linear terdiri dari dua keadaan himpunan *fuzzy* yang linier. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0 bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Representasi linier naik dapat dilihat pada Gambar 2.

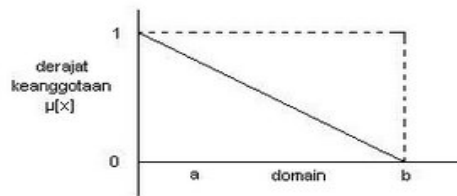


■ Gambar 2. Representasi Linier Naik[1]

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Representasi linier turun dapat dilihat pada Gambar 3.



■ Gambar 3. Representasi Linier Turun[1]

Fungsi Keanggotaan:

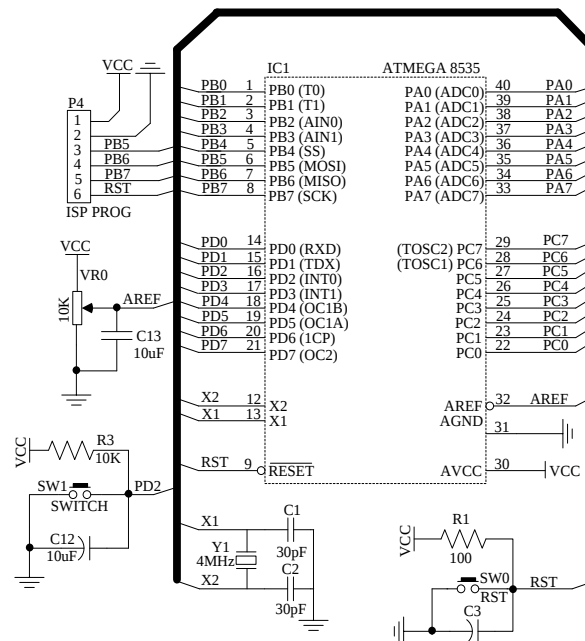
$$\mu = \begin{cases} (b - x)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

### Matlab 7.0

Nama MatLab adalah singkatan dari *Matrix Laboratory* yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* Bahasa pemrograman ini banyak digunakan untuk perhitungan numerik keteknikan, komputasi simbolik, visualisasi, grafis, analisis data matematis, statistika, simulasi, pemodelan dan desain *Graphical User Interface* (GUI) [2]. Simulasi sistem mesin cuci yang dirancang menggunakan program Matlab versi 7.0. Matlab 7.0 dipilih karena sudah dilengkapi *fuzzy logic toolbox* untuk melakukan simulasi sistem *fuzzy*

### Mikrokontroler

Mikrokontroler pada perancangan ini berfungsi untuk mengendalikan semua proses yang dijalankan oleh mesin cuci. Gambar 4 merupakan skematik sistem mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini adalah ATmega8535 [3]. Mikrokontroler ini memiliki 40 pin yang dimana memiliki empat *port* yaitu *port A*, *port B*, *Port C*, *port D* yang dimana empat *port* ini dapat difungsikan sebagai masukan/ keluaran untuk keperluan sistem. Setiap *port* terdiri delapan pin.



■ Gambar 4. Modul Mikrokontroller ATmega8535 [3].

### Proses Penentuan Kuantitas Air dan Sabun

Proses penentuan air dan sabun mengacu pada perbandingan antara berat beban dan jumlah air. Berdasarkan spesifikasi mesin cuci LG WF-T755, ditentukan kisaran nilai untuk variabel *input* berat antara 0-7.5 kilogram, variabel *output* banyaknya air antara 0-106 liter. Debit air dibagi menjadi empat kelompok yaitu sedikit, sedang, banyak, dan sangat banyak. Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara berat beban, jumlah air, dan takaran sabun secara tiga dimensi. Perbandingan tersebut memiliki rumus sebagai berikut :

$$Y = \frac{Y_1}{X_1} \times X \dots\dots\dots (3)$$

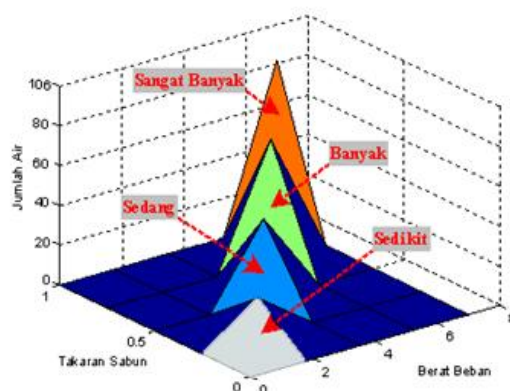
Dengan

Y : Takaran air (liter)

Y1 : Jumlah air maksimum = 106 liter

X : Berat beban (kg)

X1 : Berat beban maksimum = 7.5 kg



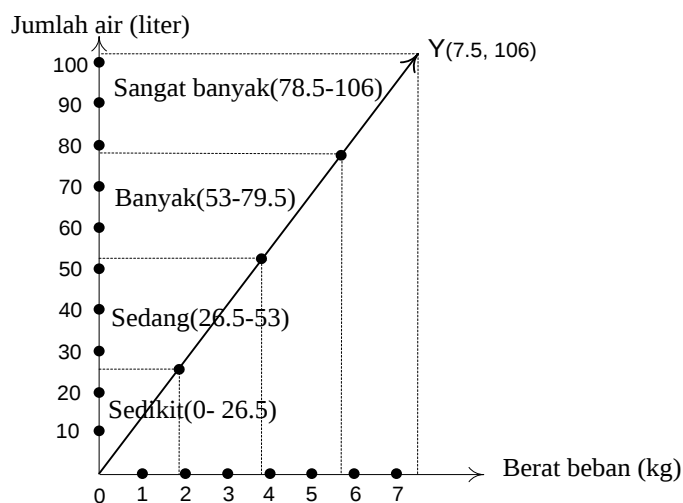
■ **Gambar 5.** Perbandingan Berat, Air, dan Sabun

Sebagai gambaran, perhatikan contoh perhitungan berikut ini. Bila diketahui berat beban adalah 3 kg, maka takaran air yang diperlukan adalah  $Y = (106/7.5) \times 3 = 42.4$  liter.

Sabun yang digunakan adalah sabun berjenis bubuk dengan banyak sabun untuk satu sendok adalah 40 gram. Penentuan takaran sabun berdasarkan debit air dapat dilihat pada Tabel 1. Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara berat beban, jumlah air, dan takaran sabun secara tiga dimensi.

■ **Tabel 1.** Tabel perbandingan debit air dan takaran sabun

| Debit Air     | Takaran Sabun        |
|---------------|----------------------|
| Sangat Banyak | 1 Sendok             |
| Banyak        | $\frac{3}{4}$ Sendok |
| Sedang        | $\frac{1}{2}$ Sendok |
| Sedikit       | $\frac{1}{4}$ Sendok |



■ **Gambar 6.** Grafik Perbandingan Berat beban dan Jumlah Air

Realisasi program penentuan kuantitas air dan sabun dalam bahasa C pada mikrokontroler adalah sebagai berikut:

```

menit = 60000;
F = 0;
fm = 7.5;
d1 = 106;
sm = 100;

```

```

mb = 255;
D = 0;
F = (fm*read_adc(0))/mb;
if ((F>0)&&(F<=7.5)) D = (d1*F)/fm;
else {PORTC.7 = 1;delay_ms(100);PORTC.7 = 0;delay_ms(100);}
if ((D > 0) && (D < 26.5)) {PORTC.1 = 1;}
else if ((D >= 26.5) && (D < 53)) {PORTC.2 = 1;}
else if ((D >= 53) && (D < 79.5)) {PORTC.3 = 1;}
else if ((D >= 30.76) && (D <= 106)) {PORTC.4 = 1;}
else {PORTC.1 = PORTC.2 = PORTC.3 = PORTC.4 = 0;}
if (D>0)
{
PORTC.0 = 1;
delay_ms(D*1890);
PORTC.0 = PORTC.1 = PORTC.2 = PORTC.3 = PORTC.4 = 0;
D = 0;
}

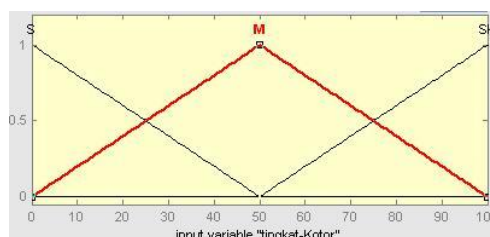
```

Program mengambil data pada *pin* 0 dari *Port* A (*read\_adc(0)*) yang kemudian dikalkulasikan untuk mendapatkan berat bahan cucian (*F*). Jika nilai berat yang didapatkan pada rentang 0-7.5, maka banyaknya air (*D*) akan dihitung dan takaran sabun ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *D*. Nilai 1890 untuk *delay* pada baris program no. 19 adalah waktu pengisian air untuk satu liter selama 1.89 detik menggunakan mesin air Sanyo P H136 dan diameter pipa 1 inci.

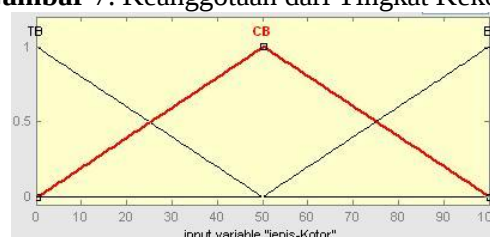
### Estimasi Waktu Pencucian

Proses estimasi waktu pencucian diimplementasikan dengan menggunakan program C. Proses estimasi dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. Variabel *input* akan dikonversi menjadi nilai keanggotaan dengan menggunakan fungsi keanggotaan (*fuzzifikasi*). Selanjutnya, dengan menggunakan aturan-aturan yang telah ditentukan, dilakukan penalaran untuk mendapatkan kesimpulan yang diinginkan. Nilai kesimpulan ini kemudian dipetakan kembali (*defuzzifikasi*) untuk mendapatkan nilai *output* berupa nilai estimasi waktu pencucian.

Kisaran nilai untuk variabel *input* kadar lemak dan tingkat kekotoran diberi rentang nilai antara 0–100. Rentang nilai *input* tersebut ditentukan berdasarkan data yang diterima dari sensor. Misalnya, Acuan sensor yang digunakan adalah sensor *infrared* tipe TSOP48XX dengan tegangan *output* -0,3 volt hingga 6 volt [5], maka -0,3 volt adalah nilai minimum *input* yaitu 0 dan 6 volt adalah 100. Variabel *output* lama waktu pencucian diberi rentang nilai antara 0–60 menit. Pengelompokan data *input* dan *output* ini dilakukan untuk memperjelas rumusan *fuzzy logic*. Berdasarkan hal tersebut, kadar lemak dibagi menjadi tiga kelompok yaitu tidak berlemak (TB), cukup berlemak (CB), dan berlemak (B), tingkat kekotoran dibagi menjadi tiga kelompok yaitu sedikit (S), sedang (M), dan sangat kotor (SK). Grafik fungsi keanggotaan berdasarkan pengelompokan di atas dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



■ Gambar 7. Keanggotaan dari Tingkat Kekotoran



■ Gambar 8. Keanggotaan dari Jenis Kekotoran

Fungsi-fungsi keanggotaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan (5) hingga Persamaan (9).

$$\mu(\text{sedikit kotor}) = \begin{cases} 1; & x \leq 0 \\ (50 - x)/(50); & 0 \leq x \leq 50 \\ 0; & x \geq 50 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

$$\mu(\text{cukup kotor}) = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ (x)/(50); & 0 \leq x \leq 50 \\ (100 - x)/(50); & 50 \leq x \leq 100 \\ 1; & x \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

$$\mu(\text{sangat kotor}) = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ (x - 50)/(50); & 50 \leq x \leq 100 \\ 1; & x \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

$$\mu(\text{tidak berlemak}) = \begin{cases} 1; & y \leq 0 \\ (50 - y)/(50); & 0 \leq y \leq 50 \\ 0; & y \geq 50 \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

$$\mu(\text{cukup berlemak}) = \begin{cases} 0; & y \leq 0 \\ (y)/(50); & 0 \leq y \leq 50 \\ (100 - y)/(50); & 50 \leq y \leq 100 \\ 1; & y \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

$$\mu(\text{berlemak}) = \begin{cases} 0; & y \leq 50 \\ (y - 50)/(50); & 50 \leq y \leq 100 \\ 1; & y \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

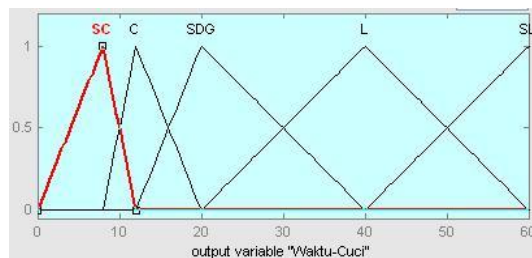
Realisasi proses pengelompokan data *input* tingkat kekotoran (X) dan kadar lemak (Y) ke dalam himpunan *fuzzy logic* diimplementasikan pada mikrokontroler dengan menggunakan bahasa pemrograman C dapat dilihat pada potongan program berikut ini.

```
void TingkatKotor (void)
{
// Sedikit Kotor
if (X <= 50) Sedikit = ((50-X)/50);
else if (X <= 0) Sedikit = 1;
else Sedikit = 0;
if (Sedikit > 0) S = 1;
// CukupKotor
if (X <= 50) Cukup = (X/50);
else if ((X >= 50) && (X <= 100)) Cukup = ((100-X)/50);
else if ((X <= 0) && (X >= 100)) Cukup = 0;
if (Cukup > 0) M = 1;
// SangatKotor
if (X <= 50) Sangat = 0;
else if ((X >= 50) && (X <= 100)) Sangat = ((X-50)/50);
else Sangat = 1;
if (Sangat > 0) SK = 1;
}
void JenisKotor (float &Y)
{
// TidakBerlemak
if (Y <= 50) NotGreasy = ((50-Y)/50);
else if ((Y <= 0)) NotGreasy = 1;
else NotGreasy = 0;
if (NotGreasy > 0) TB = 1;
// CukupBerlemak
if (Y <= 50) Medium = (Y/50);
else if ((Y >= 50) && (Y <= 100)) Medium = ((100-Y)/50);
else if ((Y <= 0) && (Y >= 100)) Medium = 0;
if (Medium > 0) CB = 1;
// Berlemak
if (Y <= 50) Greasy = 0;
else if ((Y >= 50) && (Y <= 100)) Greasy = ((Y-50)/50);
else Greasy = 1;
if (Greasy > 0) B = 1;
}
```

}

Variabel *output* lama waktu pencucian didefinisikan menjadi lima kelompok yaitu sangat cepat (SC), cepat (C), sedang (SDG), lama (L), dan sangat lama (SL). Grafik fungsi keanggotaan lama waktu pencucian ditunjukkan pada Gambar 9. *Fuzzy logic* mengambil keputusan untuk *output* sistem berdasarkan sekumpulan peraturan [6]. Rincian peraturan dapat dilihat pada Tabel 2 dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Jika tingkat kekotoran adalah SK dan kadar lemak adalah B, maka waktu pencucian adalah SL.
2. Jika tingkat kekotoran adalah M dan kadar lemak adalah B, maka waktu pencucian adalah L.
3. Jika tingkat kekotoran adalah S dan kadar lemak adalah B, maka waktu pencucian adalah L.
4. Jika tingkat kekotoran adalah SK dan kadar lemak adalah CB, maka waktu pencucian adalah L.
5. Jika tingkat kekotoran adalah M dan kadar lemak adalah CB, maka waktu pencucian adalah SDG.
6. Jika tingkat kekotoran adalah S dan kadar lemak adalah CB, maka waktu pencucian adalah SDG.
7. Jika tingkat kekotoran adalah SK dan kadar lemak adalah TB, maka waktu pencucian adalah SDG.
8. Jika tingkat kekotoran adalah M dan kadar lemak adalah TB, maka waktu pencucian adalah C.
9. Jika tingkat kekotoran adalah S dan kadar lemak adalah TB, maka waktu pencucian adalah SC.



■ Gambar 9. Keanggotaan dari Lama Waktu Pencucian

■ Tabel 2. Tabel aturan-aturan

| Tingkat<br>kekotoran | Kadar lemak |     |     |
|----------------------|-------------|-----|-----|
|                      | S           | M   | SK  |
| TB                   | SC          | C   | SDG |
| CB                   | SDG         | SDG | L   |
| B                    | L           | L   | SL  |

Realisasi proses defuzzifikasi untuk mendapatkan *output* lama waktu pencucian dalam bahasa pemrograman C adalah sebagai berikut:

```
void Defuzzy (void)
{
    Z = 0;
    // Sangat Cepat
    if (S == 1 && TB == 1)
    {
        sc = min(Sedikit,NotGreasy);
        SC1 = sc*8;
        SC2 = 12-(sc*4);
        SC = (SC1+SC2)/2;
        Z = max(Z,SC);
    }
    // Cepat
    if (M == 1 && TB == 1)
    {
        c = min(Cukup,NotGreasy);
        C1 = (c*4)+8;
        C2 = 20-(c*8);
        C = (C1+C2)/2;
        if (c >= sc)
            Z = max(Z,C);
    }
    // Sedang
```

```

if (SK == 1 && TB == 1) {sdg = min(Sangat,NotGreasy); }
if (S == 1 && CB == 1) {sdg1 = min(Sedikit,Medium); sdg = max(sdg,sdg1);}
if (M == 1 && CB == 1) {sdg1 = min(Cukup,Medium); sdg = max(sdg,sdg1);}
if (sdg > 0)
{
SDG1 = (sdg*8)+12;
SDG2 = 40-(sdg*20);
SDG = (SDG1+SDG2)/2;
if ((sdg >= sc) && (sdg >= c))
Z = max(Z,SDG);
}
// Lama
if (SK == 1 && CB == 1) {l = min(Sangat,Medium); }
if (S == 1 && B == 1) {l1 = min(Sedikit,Greasy); l = max(l,l1);}
if (M == 1 && B == 1) {l = min(Cukup,Greasy); l = max(l,l1);}
if (l > 0)
{
L1 = (l*8)+12;
L2 = 40-(l*20);
L = (L1+L2)/2;
if ((l >= sc) && (l >= c) && (l >= sdg))
Z = max(Z,L);
}
// Sangat Lama
if (SK == 1 && B == 1) sl = min(Sangat,Greasy);
if (sl > 0)
{SL = (sl*20)+40;
Z = max(Z,SL); }
}

```

Output program adalah untuk mendapatkan nilai variabel Z sesuai dengan aturan-aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *mean of maximum* (MOM).

### Proses Pembilasan dan Pengeringan

Proses pembilasan dan pengeringan dilakukan dengan membuat program pewaktu yang berfungsi untuk menetapkan lama waktu proses akan berlangsung. Lama waktu proses pembilasan sama dengan waktu proses pengeringan ditetapkan selama 11 menit.

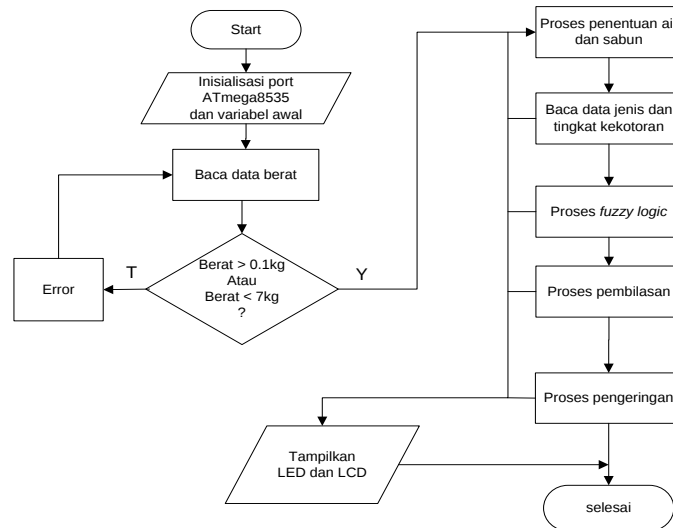
### Prosedur Rancangan Keseluruhan Sistem

Prosedur rancangan sistem secara keseluruhan ini adalah dengan memberi semua *input* yang diperlukan oleh mikrokontroler dengan *power supply variable*, menghubungkan *output* estimasi pencucian pada *liquid crystal display* (LCD) dan *output* lainnya dihubungkan dengan delapan buah LED yang ada pada *project board*. *Input* dihubungkan pada *pin 0*, *pin 1*, dan *pin 2* pada *PORT A*. *Output* LCD dihubungkan pada *PORT B*. *Output* LED dihubungkan pada *PORT C*. Rincian *output* dari setiap LED dapat dilihat pada Tabel 3.

■ **Tabel 3.** Tabel keterangan *output* setiap LED

| Posisi LED       | Keterangan             |
|------------------|------------------------|
| 1 = <i>pin 0</i> | Masukkan Air           |
| 2 = <i>pin 1</i> | Takaran Sabun 1        |
| 3 = <i>pin 2</i> | Takaran Sabun 2        |
| 4 = <i>pin 3</i> | Takaran Sabun 3        |
| 5 = <i>pin 4</i> | Takaran Sabun 4        |
| 6 = <i>pin 5</i> | Motor Mesin Cuci       |
| 7 = <i>pin 6</i> | Pembuangan Air         |
| 8 = <i>pin 7</i> | Indikator <i>Error</i> |

Rancangan perangkat lunak terdiri dari realisasi perangkat lunak untuk mikrokontroler menggunakan *CodeVision AVR C Compiler* dan perangkat lunak untuk simulasi *fuzzy logic* menggunakan *Matlab 7.0*. Diagram alir perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 10.



■ **Gambar 10.** Diagram Alir Pada Perangkat Lunak

### Pengujian dan Analisi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *chip* yang telah dirancang dapat bekerja atau berfungsi dengan baik sebagaimana yang diinginkan. Pengujian dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengujian terhadap perangkat keras dan pengujian terhadap perangkat lunak. Pengujian perangkat keras meliputi pengujian mikrokontroler dan pengujian LCD. Alat bantu yang digunakan dalam pengujian perangkat keras ini adalah satu buah *Project Board*. Pengujian perangkat lunak ini dilakukan pada beberapa sub-rutin program yang telah ditunjukkan sebelumnya. Pengujian perangkat lunak yang dilakukan yaitu proses estimasi air, penentuan takaran sabun, proses *fuzzy logic* untuk estimasi waktu pencucian, proses pembilasan, dan proses pengeringan. Alat bantu yang digunakan dalam pengujian ini adalah satu buah *project board*, tiga buah potensiometer, *stopwatch*, dan tiga buah *multi tester* digital.

Pengujian mikrokontroler bertujuan untuk melihat kinerja ADC pada mikrokontroler sesuai dengan program yang telah dimasukkan ke mikrokontroler. Program yang digunakan berfungsi untuk mengetahui nilai konversi tegangan *input* DC berdasarkan kondisi *output* yaitu delapan buah LED sebagai penunjuk nilai *biner*. Fitur ADC pada Atmega8535 yang digunakan sebesar 8 bit dengan rentang nilai *input* analog 0-5 volt. Dengan demikian, berarti rentang nilai *output digital* dalam biner adalah 00000000-11111111, rentang nilai dalam hexadesimal adalah 00-FF, atau rentang nilai dalam desimal adalah 0-255. Sebagai contoh, tegangan *input* yang diberikan sebesar 1.5 volt, maka nilai *output* bilangan biner adalah 01001100, 76 dalam desimal, atau 4C dalam hexadesimal. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa fungsi ADC pada mikrokontroler yang digunakan dapat bekerja dengan baik.

Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui apakah LCD dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan modul LCD 2x16 dengan modul mikrokontroler yang sudah terisi program untuk menampilkan karakter. LCD 2x16 berarti memiliki tampilan dua baris dan enam belas kolom. Penentuan baris dan kolom dalam program C menggunakan perintah `lcd_gotoxy(kolom, baris)`. Program pada baris 22-27 akan memberi perintah pada LCD untuk menampilkan kata “HERRO” pada baris pertama di mana karakter dimulai dari kolom pertama dan baris kedua di isi dengan “525040012” dimulai dari kolom pertama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LCD menampilkan karakter sesuai dengan perintah program. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa LCD yang digunakan dapat bekerja dengan baik.

Pengujian program estimasi debit air bertujuan untuk memastikan apakah pemrograman sudah sesuai dengan perhitungan. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan antara hasil *output* program untuk estimasi debit air dengan hasil perhitungan secara manual menggunakan Persamaan (1). Hasil pengujian menunjukkan hasil *output* sistem sama dengan hasil perhitungan secara manual. Kesamaan hasil *output* tersebut menunjukkan bahwa rumus yang digunakan dapat direalisasikan dengan baik dalam pemrograman. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa program untuk proses estimasi air dapat bekerja dengan baik.

Pengujian program penentuan takaran sabun bertujuan untuk memastikan apakah hasil *output* untuk takaran sabun sesuai dengan ketentuan yang ada pada Tabel 1. Pengujian ini mengacu pada hasil pengujian program estimasi debit air sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan hasil *output* sistem sama dengan ketentuan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa program untuk proses estimasi air dan sabun dapat bekerja dengan baik.

Pengujian program estimasi waktu pencucian bertujuan untuk memastikan apakah pemrograman *fuzzy logic* pada mikrokontroler sudah sesuai dengan perhitungan. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan antara hasil *output* sistem dengan hasil simulasi Matlab. Nilai *input* untuk pengujian ditentukan dengan cara mengambil satu nilai *sample* untuk tiap-tiap himpunan *input fuzzy logic*. Variasi nilai *input* untuk tingkat kotor dan kadar lemak sama yaitu 0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5, dan 100. Variasi nilai tersebut akan dikombinasi secara silang sehingga didapat 81 kombinasi untuk data *input* pengujian. Hasil pengujian menunjukkan adanya sedikit perbedaan antara hasil pengujian program dengan hasil simulasi. Berdasarkan pengujian 81 kombinasi data *input* tingkat kotor dan kadar lemak tersebut, ditemukan *error* terkecil yaitu 0% dan *error* terbesar yaitu 2.86% dengan rata-rata *error*

keseluruhan yaitu 0.4%. *Error* tersebut terjadi karena adanya sedikit perbedaan dalam sistem perhitungan dan pembulatan nilai antara program sistem dengan simulasi. Selain itu, *plot point* pada simulasi Matlab ikut mempengaruhi nilai *output*. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa program *fuzzy logic* untuk proses estimasi waktu pencucian dapat bekerja cukup baik.

Pengujian program pembilasan bertujuan untuk memastikan bahwa *output* sistem sesuai dengan waktu pembilasan yang telah ditentukan yaitu 11 menit. Pengujian dilakukan dengan cara menghitung lama waktu *output* untuk proses pembilasan menggunakan *stopwatch* secara manual. Hasil pengujian menunjukkan waktu pembilasan adalah 11 menit. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa lama waktu pembilasan yang telah ditentukan berfungsi dengan baik.

Pengujian program pengeringan bertujuan untuk mengetahui apakah *output* sistem sesuai dengan waktu pengeringan yang telah ditentukan yaitu 11 menit. Cara pengujian yang dilakukan adalah dengan menghitung lama waktu *output* untuk proses pengeringan menggunakan *stopwatch* secara manual. Hasil pengujian menunjukkan waktu pengeringan adalah 11 menit. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa lama waktu pengeringan yang telah ditentukan berfungsi dengan baik.

Pengujian dan analisis sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat apakah sudah memenuhi spesifikasi rancangan dan sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian dilakukan dengan menggabungkan semua bagian program dan dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Berikut adalah pengujian dan analisis terhadap sistem secara keseluruhan.

Mikrokontroler diberi tiga buah *input* tegangan  $\pm 0-5$  volt yang di catu dari *project board* dengan potensiometer sebagai pengatur tegangan. Tegangan *input1* ditujukan sebagai *input* berat, *input2* sebagai *input* tingkat kekotoran, dan *input3* sebagai *input* kadar lemak. Setelah tombol *start* ditekan, maka sistem mulai mengkalkulasikan jumlah air dan takaran sabun yang dibutuhkan berdasarkan tegangan *input1* yang diberikan. Jumlah air akan ditunjukkan oleh LED 0 dan takaran sabun ditunjukkan oleh LED 1 untuk seperempat sendok, LED 2 untuk setengah sendok, LED 3 untuk tiga perempat sendok, dan LED 4 untuk satu sendok. Sistem membaca tegangan *input2* dan *input3* untuk menentukan lama waktu pencucian dengan menggunakan metode *fuzzy logic* di mana lama waktu pencucian ditunjukkan oleh LED 5. Setelah proses pencucian selesai dilakukan, air cucian akan dibuang dan diganti dengan air bersih yang ditunjukkan oleh LED 6. Setelah air diganti, maka berlanjut ke proses pembilasan. Proses pembilasan dilakukan sebanyak dua kali yang kemudian dilanjutkan ke proses pengeringan di mana berjalannya proses tersebut akan ditunjukkan oleh LCD.

Pengujian dilakukan dalam enam kelompok kasus berbeda. Kasus ke-1 dengan variasi nilai tegangan yang diberikan untuk *input1* adalah 0.71V, 2.14V, 3.57V, dan 4.28V. Tegangan untuk *input2* dan *input3* diberi 0V. Hasil kasus pertama menunjukkan perubahan yang terjadi pada *output* untuk berat beban, debit air, dan takaran sabun sesuai dengan ketentuan. Misalnya hasil *output chip* untuk *input1* = 0.71V adalah berat beban = 1.01kg, debit air = 14.33 lt, dan takaran sabun 1. Hasil *output* debit air jika dilakukan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut:  $\text{Debit air} = (106 \times \text{berat beban}) / 7.5 = (106 \times 1.01) / 7.5 = 14.27\text{lt}$ . Hasil *output chip* sedikit berbeda dengan perhitungan secara manual. Perbedaan tersebut terjadi karena dalam perhitungan sistem tidak melakukan pembulatan nilai dibelakang koma.

Kasus ke-2 dengan nilai tegangan untuk *input1* yaitu 0.71V dan *input3* yaitu 0.62V. Variasi nilai tegangan untuk *input2* adalah 0.62V, 1.87V, 2.5V, 3.12V, dan 4.37V. Kasus kedua merupakan kasus di mana nilai *input2* divariasikan untuk semua daerah sedangkan *input3* tetap pada daerah TB. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa saat *input2* berada pada daerah S, *output* waktu pencucian lebih condong berada pada daerah *output fuzzy* SC. Saat *input2* berada pada titik potong S dan M, *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* C. Saat *input2* berada pada daerah M, *output* waktu pencucian berada diantara daerah *output fuzzy* C dan SDG. Saat *input2* berada pada titik potong M dan SK, *output* waktu pencucian lebih condong berada pada daerah *output fuzzy* SDG. Saat *input2* berada pada daerah SK, *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* SDG.

Kasus ke-3 dengan nilai tegangan untuk *input1* yaitu 0.71V dan *input3* yaitu 1.87V. Variasi nilai tegangan untuk *input2* adalah 0.62V, 1.87V, 2.5V, 3.12V, dan 4.37V. Kasus ketiga merupakan kasus di mana nilai *input2* divariasikan untuk semua daerah sedangkan *input3* tetap pada daerah titik potong TB dan CB. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rata-rata *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* SDG. Untuk *input2* pada daerah SK, *output* waktu pencucian langsung melompat ke kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* L.

Kasus ke-4 Nilai tegangan untuk *input1* yaitu 0.71V dan *input3* yaitu 2.5. Variasi nilai tegangan untuk *input2* adalah 0.62V, 1.87V, 2.5V, 3.12V, dan 4.37V. Kasus keempat merupakan kasus di mana nilai *input2* divariasikan untuk semua daerah sedangkan *input3* tetap pada daerah CB. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rata-rata *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* SDG. Untuk *input2* pada daerah SK, *output* waktu pencucian lebih condong berada pada daerah *output fuzzy* L.

Kasus ke-5 Nilai tegangan untuk *input1* yaitu 0.71V dan *input3* yaitu 3.12V. Variasi nilai tegangan untuk *input2* adalah 0.62V, 1.87V, 2.5V, 3.12V, dan 4.37V. Kasus kelima merupakan kasus di mana nilai *input2* divariasikan untuk semua daerah sedangkan *input3* tetap pada daerah titik potong CB dan B. Dari hasil pengujian

dapat disimpulkan bahwa rata-rata *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* SDG. Untuk *input2* pada daerah SK, *output* waktu pencucian lebih condong berada pada daerah *output fuzzy* L.

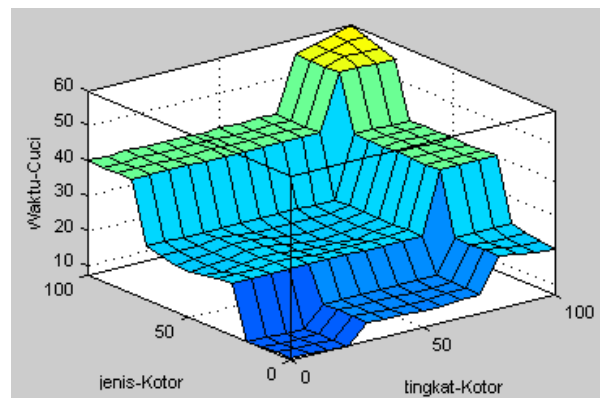
Kasus ke-6 Nilai tegangan untuk *input1* yaitu 0.71V dan *input3* yaitu 4.37V. Variasi nilai tegangan untuk *input2* adalah 0.62V, 1.87V, 2.5V, 3.12V, dan 4.37V. Kasus keenam merupakan kasus di mana nilai *input2* divariasikan untuk semua daerah sedangkan *input3* tetap pada daerah titik potong CB dan B. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rata-rata *output* waktu pencucian berada di kisaran titik tengah daerah *output fuzzy* L. Untuk *input2* pada daerah SK, *output* waktu pencucian lebih condong berada pada daerah *output fuzzy* SL.

Pengujian terhadap *chip* untuk satu kali pengujian keseluruhan dapat dianalisa dengan cara melakukan perhitungan secara manual serta perbandingan dengan hasil simulasi Matlab. Contoh, hasil *output* pada *chip* yang didapat pada kasus ke lima adalah berat beban = 1.01kg, debit air = 14.33 lt, tingkat kotor = 12.15, jenis kotor = 63.52, waktu pencucian = 21.52 menit. Hasil *output* lama waktu pencucian pada simulasi matlab untuk *input* tingkat kotor = 12.15 dan jenis kotor = 63.52 didapat *output* waktu pencucian = 21.6. Hasil *output* debit air jika dilakukan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut: Debit air =  $(106 \times \text{berat beban}) / 7.5 = (106 \times 1.01) / 7.5 = 14.27 \text{ lt}$ . Perbedaan hasil yang terjadi dikarenakan perhitungan sistem pada *chip* tidak melakukan pembulatan nilai *input* untuk angka dibelakang koma. Oleh karena itu, nilai *output* yang dihasilkan akan sedikit lebih kecil atau sedikit lebih besar. Dari hasil pengujian kasus diatas, perbedaan hasil yang terjadi cukup kecil. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa program dapat mengkalkulasikan perhitungan *output* dengan baik dan sistem bekerja sesuai dengan ketentuan.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, ditemukan *error* terkecil yaitu 0% dan *error* terbesar yaitu 2.86% dengan rata-rata *error* keseluruhan yaitu 0.4%. *Error* terjadi karena adanya sedikit perbedaan dalam pembulatan nilai antara program *chip* dengan simulasi Matlab.

Statistik dari hasil pengujian keseluruhan, dapat ditarik kesimpulan bahwa penentuan lama waktu pencucian menggunakan metode *fuzzy logic* dengan proses defuzzifikasi tipe MOM akan menghasilkan *output* dengan grafik bertingkat seperti tangga. Hasil tersebut sesuai dengan hasil grafik *surface* pada simulasi Matlab seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



■ Gambar 11. Grafik *surface* Simulasi Matlab

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. V. Hall, *Microprocessor And Interfacing*, Singapore : Mc Graw-Hill Book co, 1992.
- [2] H. T. Nguyen, N. R. Prasad, C. L. Walker, and E. A. Walker, *Fuzzy and Neutral Control*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2003.
- [3] LG Indonesia, "Buku Petunjuk Mesin Cuci LG WF-T755: Spesifikasi", <http://id.diplodocs.com/414159.php?k=80b9381a17c504be970eb289e9f1c12&ID=505699&q=LG WF-755TH>, Maret 2010.
- [4] M. Agarwal, *Science Journal of Fuzzy Logic Control of Washing Machines*, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India, 1996.
- [5] S. Kusumadewi, *Analisis & Desain Sistem Fuzzy*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2002.
- [6] Thomas dan Y. W. A. Prasetyo, *Analisis dan desain sistem kontrol dengan MATLAB*, Yogyakarta : Andi, 2004.