

**MODUL KENDALI BERDASARKAN LOGIKA FUZZY
MENGUNAKAN MIKROKONTROLER M68HC11A1
DILENGKAPI ANTAR MUKA DENGAN
PERANGKAT PENGATURAN BASIS PENGETAHUAN
DAN PENAMPIL TANGGAPAN SINYAL**

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

NAMA : EDWIN YULIA SETYAWAN
NIM : L 2F0 96 584

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2003**

Modul Kendali Berdasarkan Logika Fuzzy Menggunakan Mikrokontroler M68HC11A1 Dilengkapi Antar Muka Dengan Perangkat Pengaturan Basis Pengetahuan dan Penampil Tanggapan Sinyal

Edwin Yulia Setyawan

Abstrak - Dunia teknologi semakin maju yang salah satunya ditandai dengan sistem terkendali yang semakin kompleks. Teori himpunan fuzzy yang dicetuskan oleh Lotfi .A. Zadeh telah membuka wawasan tentang teori sistem kendali modern. Dengan semakin berkembangnya penerapan logika fuzzy dalam sistem kendali maka menjadi suatu kebutuhan bagi dunia pendidikan, terutama bidang teknik kendali untuk membahas logika fuzzy ini dalam studi ilmiah yang aplikatif.

Melalui penelitian ini, dibuat suatu modul kendali berdasarkan logika fuzzy yang dilengkapi antar muka dengan perangkat pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal (Dendy Faizal, 2003)[5] serta dapat mengendalikan suatu plant melalui jalur komunikasi serial. Modul ini akan digunakan dalam praktikum kendali logika fuzzy di lingkungan Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Modul kendali ini dibuat dengan menggunakan mikrokontroler M68HC11A1 yang diprogram agar dapat melakukan fungsi kendali terhadap suatu plant berdasarkan logika fuzzy dengan basis pengetahuan yang didapat dari perangkat pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal (Dendy Faizal, 2003)[5] serta memberikan tanggapan terhadap interupsi yang diberikan oleh perangkat tersebut. Proses antar muka dengan perangkat tersebut dan sistem plant dilakukan melalui jalur komunikasi serial.

Dalam penelitian tugas akhir ini, diharapkan modul kendali logika fuzzy dapat digunakan untuk mengendalikan plant orde 1, orde 2, orde 3 berdasarkan logika fuzzy dengan variasi basis pengetahuan yang diterima melalui port antar muka dengan perangkat pengaturan basis pengetahuan fuzzy (Dendy Faizal, 2003)[5]. Tanggapan sinyal plant juga diharapkan dapat ditampilkan pada perangkat penampil tanggapan sinyal (Dendy Faizal, 2003)[5].

I. PENDAHULUAN

Tujuan penelitian ini adalah membuat modul kendali berdasarkan logika fuzzy menggunakan mikrokontroler M68HC11A1 yang dilengkapi antar muka dengan perangkat pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal menggunakan komputer (Dendy Faizal, 2003)[5] yang dapat dipakai dalam aplikasi. Basis pengetahuan yang diambil dari perangkat pengaturan basis pengetahuan menggunakan

komputer (Dendy Faizal, 2003)[5] diolah oleh mikrokontroler berdasarkan logika fuzzy menggunakan program *assembly* mikrokontroler M68HC11 yang sekaligus memberikan kendali ke plant melalui komunikasi serial dan menangkap hasil keluaran plant dan nilai referensi dengan sistem ADC (*Analog To Digital Converter*) internal mikrokontroler M68HC1A1. Program ini juga dapat melayani interupsi dari komputer serta memberikan data tanggapan sinyal ke perangkat penampil tanggapan sinyal menggunakan komputer (Dendy Faizal, 2003)[5].

Pada Tugas Akhir ini ada beberapa pembatasan masalah, yaitu :

1. Tugas Akhir ini tidak membuat dan membahas program pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal menggunakan komputer berbasis program Microsoft Visual Basic 6.0 (Dendy Faizal, 2003)[5].
2. Tugas Akhir ini tidak membahas proses pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal menggunakan komputer (Dendy Faizal, 2003)[5].
3. Masukan yang diolah berasal dari nilai referensi dan nilai keluaran sinyal plant yang akan menghasilkan dua masukan berbeda, yaitu masukan kesalahan dan beda kesalahan.
4. Tipe fungsi keanggotaan yang digunakan ada tiga, yaitu segitiga, trapesium, phi.
5. Pengaturan basis pengetahuan dilakukan di komputer (Dendy Faizal, 2003)[5], sedangkan pada penelitian ini tidak menangani pengaturan basis pengetahuan tetapi hanya mengambil parameter basis pengetahuan yang telah diatur ke memori sistem minimum mikrokontroler yang akan diolah berdasarkan kendali logika fuzzy.
6. Proses kendali logika fuzzy menggunakan metode Sugeno.
7. Proses implikasi menggunakan metode MIN sedangkan proses agregasi menggunakan metode MAX.
8. Variabel keluaran menggunakan fungsi keanggotaan singleton dan proses defuzzifikasi menggunakan metode *Weighted Average*.

II. DASAR TEORI

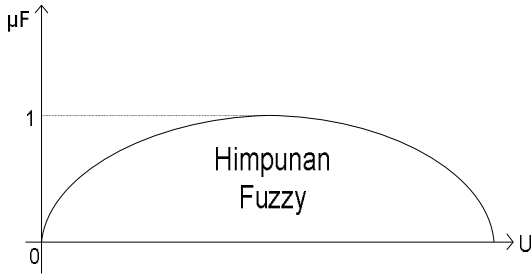
A. Teori Sistem Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan kumpulan elemen – elemen u dengan derajat keanggotaan μ_F seperti ditunjukkan pada gambar 1. Bila semesta pembicaraan U terdiri dari elemen – elemen yang diskrit, maka himpunan fuzzy F

dinyatakan sebagai :

$$F = \sum \mu_F(u_i)/u_i \quad (1)$$

dengan notasi 'Σ' menyatakan gabungan anggota himpunan dengan derajat keanggotaan tertentu dan notasi '/' digunakan untuk menghubungkan anggota himpunan dengan derajat keanggotaannya.

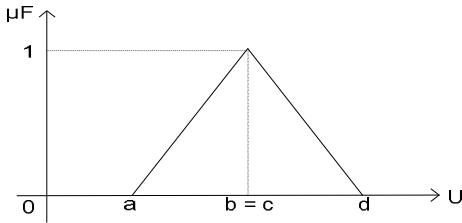


Gambar 1. Himpunan fuzzy dan derajat keanggotaannya

Ada beberapa fungsi keanggotaan yang digunakan dalam aplikasi logika fuzzy. Berikut ini adalah pembahasan tiga fungsi keanggotaan, yaitu fungsi keanggotaan segitiga, trapesium, phi, dan singleton.

1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai tiga buah parameter yang menentukan gradien fungsi segitiga, yaitu parameter a, b = c, dan d seperti ditunjukkan dalam gambar 2.



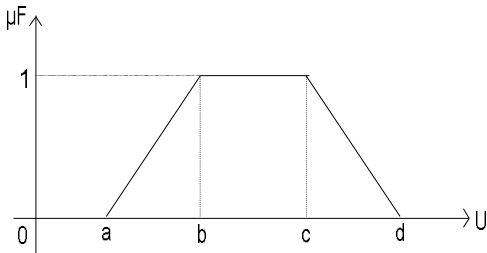
Gambar 2. Fungsi keanggotaan segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai persamaan matematis :

$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & , \text{ untuk } u \leq a \\ \frac{u-a}{b-a} & , \text{ untuk } a \leq u \leq b \\ \frac{d-u}{d-c} & , \text{ untuk } c \leq u \leq d \\ 0 & , \text{ untuk } u \geq d \end{cases} \quad (2)$$

2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai bentuk seperti pada gambar 3.



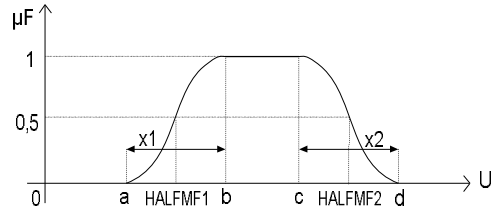
Gambar 3. Fungsi keanggotaan trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai persamaan matematis :

$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & , \text{ untuk } u \leq a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & , \text{ untuk } a \leq u \leq b \\ 1 & , \text{ untuk } b \leq u \leq c \\ \frac{(d-u)}{(d-c)} & , \text{ untuk } c \leq u \leq d \\ 0 & , \text{ untuk } u \geq d \end{cases} \quad (3)$$

3. Fungsi Keanggotaan Phi

Fungsi keanggotaan phi mempunyai bentuk fungsi yang diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan phi

Fungsi tersebut mempunyai persamaan matematis sebagai berikut :

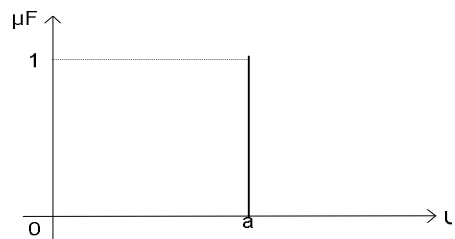
$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & \text{ untuk } u \leq a \\ 2 \left[\frac{[u-a]}{x1} \right]^2 & \text{ untuk } a \leq u \leq \text{HALFMF1} \\ 1 - 2 \left[\frac{(u-b)}{x1} \right]^2 & \text{ untuk } \text{HALFMF1} \leq u \leq b \\ 1 & \text{ untuk } b \leq u \leq c \\ 2 \left[\frac{(u-c)}{x2} \right]^2 & \text{ untuk } c \leq u \leq \text{HALFMF2} \\ 1 - 2 \left[\frac{[u-d]}{x2} \right]^2 & \text{ untuk } \text{HALFMF2} \leq u \leq d \\ 0 & \text{ untuk } u \geq d \end{cases} \quad (4)$$

4. Fungsi Keanggotaan Singleton

Singleton adalah set fuzzy yang mempunyai pendukung satu titik tunggal (= a) dalam semesta pembicaraan U. Konsep ini dinotasikan dengan :

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & , \text{ untuk } u = a \\ 0 & , \text{ untuk } u \neq a \end{cases} \quad (5)$$

Konsep ini digambarkan dalam bentuk fungsi keanggotaan yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan singleton

B. Mekanisme Kendali Logika Fuzzy

Mekanisme kendali logika fuzzy looping tertutup ditunjukkan pada gambar 6. Pada gambar 6 ditunjukkan dua masukan, yaitu masukan kesalahan dan beda kesalahan yang didapatkan dari nilai referensi, keluaran plant, dan kesalahan sebelumnya. Dua masukan tersebut akan diolah oleh sistem kendali logika fuzzy yang terdiri dari empat komponen utama yang menyusun proses kendali logika fuzzy, yaitu proses fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambil keputusan, defuzzifikasi.

Berikut ini akan dijelaskan proses – proses yang terjadi dalam kendali logika fuzzy seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.

1. Nilai Masukan

Dua masukan terhadap sistem kendali logika fuzzy, yaitu masukan kesalahan dan beda kesalahan. Nilai masukan kesalahan didapatkan dari nilai referensi dikurangi dengan nilai keluaran dari plant yang dinotasikan dengan :

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (6)$$

di mana :

$e(k)$ = nilai kesalahan diskrit

$r(k)$ = nilai referensi diskrit

$y(k)$ = nilai keluaran plant diskrit

Sedangkan nilai masukan beda kesalahan didapatkan dari nilai kesalahan sekarang dikurangi dengan nilai kesalahan sebelumnya yang dinotasikan dengan :

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (7)$$

di mana :

$ce(k)$ = nilai beda kesalahan diskrit

$e(k)$ = nilai kesalahan diskrit sekarang

$e(k-1)$ = nilai kesalahan diskrit sebelumnya

2. Fuzzifikasi

Komponen fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ternormalisasi ke dalam himpunan fuzzy menjadi nilai fuzzy dari beberapa variabel linguistik masukan.

Semesta pembicaraan himpunan fuzzy terdiri dari beberapa variabel linguistik yang disesuaikan dengan proses berpikir seorang operator manusia ketika sedang mengendalikan sistem. Perubahan data ke dalam bentuk fuzzy melibatkan perhitungan yang sederhana menggunakan analisa grafik sumbu X (sebagai masukan data tegas) dan sumbu Y (sebagai derajat keanggotaan fuzzy). Hasil perubahan data inilah yang dinamakan masukan fuzzy.

3. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan berisi pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis kaidah atur fuzzy.

a. Basis Data

Basis data merupakan komponen untuk mendefinisikan himpunan fuzzy dari masukan dan keluaran yang akan digunakan oleh kaidah atur

fuzzy. Agar data dapat diolah oleh komputer digital maka data fuzzy tersebut dibuat diskrit.

Himpunan fuzzy yang terbentuk akan mempunyai beberapa variabel linguistik yang jumlah dan jenis himpunan fuzzy ditentukan dalam perancangan pengendalian sistem.

b. Basis Kaidah Atur Fuzzy

Kaidah atur fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'IF – THEN' yang didasarkan kepada pengetahuan pakar. Pernyataan –pernyataan 'IF – THEN' ini akan diterapkan dalam kendali logika fuzzy untuk mengolah variabel dari suatu sistem yang terkendali sehingga mendapatkan harga keluaran dalam bentuk fuzzy pada tiap – tiap variabel keluaran.

4. Logika Pengambilan Keputusan

Logika pengambilan keputusan disusun dengan cara menuliskan aturan yang menghubungkan antara masukan dan keluaran sistem fuzzy. Aturan ini diekspresikan dalam kalimat : 'jika <masukan> maka <keluaran>'.
Pengambilan keputusan dari beberapa variabel sistem dilakukan sesuai dengan proses berpikir seorang operator ketika sedang mengendalikan suatu sistem.

Proses eksekusi aturan ini adalah saat nilai masukan berupa himpunan fuzzy dibaca oleh aturan 'jika – maka', maka tiap kaidah atur yang mempunyai nilai kebenaran akan dieksekusi sehingga menghasilkan keluaran fuzzy.

Proses pengambilan keputusan menggunakan metode Sugeno memberikan efisiensi dalam proses komputasi karena dalam metode ini fungsi keanggotaan keluaran menggunakan fungsi singleton sehingga mempercepat penghitungan. Metode ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1985 dan mempunyai bentuk aturan sebagai berikut :

Proses pengambilan keputusan menggunakan metode Sugeno memberikan efisiensi dalam proses komputasi karena dalam metode ini fungsi keanggotaan keluaran menggunakan fungsi singleton sehingga mempercepat penghitungan. Metode ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1985 dan mempunyai bentuk aturan sebagai berikut :

IF x is A and y is B then z is K
di mana :
x = variabel masukan 1
A = set fuzzy dalam semesta pembicaraan U
y = variabel masukan 2
B = set fuzzy dalam semesta pembicaraan V
z = variabel keluaran
K = singleton pada semesta pembicaraan W

IF x is A and y is B then z is K

di mana :

x = variabel masukan 1

A = set fuzzy dalam semesta pembicaraan U

y = variabel masukan 2

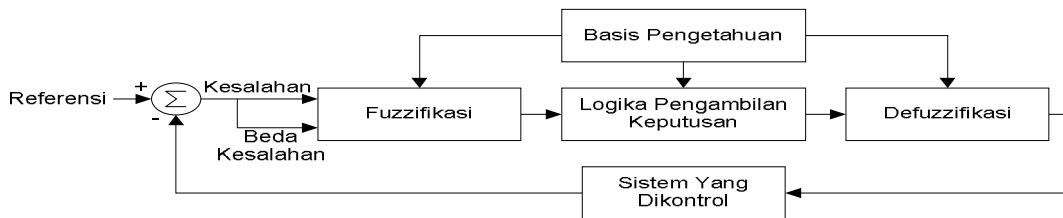
B = set fuzzy dalam semesta pembicaraan V

z = variabel keluaran

K = singleton pada semesta pembicaraan W

5. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu pemetaan dari ruang aksi kendali fuzzy yang ditentukan melalui himpunan semesta pembicaraan keluaran ke ruang aksi kendali tegas. Strategi defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kendali tegas dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kendali fuzzy yang telah dihitung. Hal ini diperlukan sebab pada umumnya aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah aksi kendali tegas.



Gambar 6. Mekanisme kendali logika fuzzy looping tertutup

Strategi defuzzifikasi yang menggunakan fungsi keanggotaan singleton pada variabel keluarannya adalah *Weighted Average* yang dirumuskan dengan :

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j)} \quad (8)$$

di mana :

z_0 = data tegas kendali ke plant

n = jumlah fungsi keanggotaan

μ_z = nilai keluaran fuzzy hasil eksekusi aturan fuzzy

w_j = nilai pendukung tiap fungsi keanggotaan singleton

C. Teori Mikrokontroler M68HC11A1

Mikrokontroler merupakan sebuah piranti yang dapat menjalankan perintah - perintah yang diberikan kepadanya dalam bentuk baris - baris program yang dibuat untuk pekerjaan tertentu. Program adalah kumpulan perintah yang diberikan ke sistem mikrokontroler, yang kemudian diolah oleh sistem tersebut untuk melaksanakan pekerjaan tertentu.

Mikrokontroler ini mempunyai suatu keping tunggal yang memuat suatu sistem mikrokontroler terintegrasi dengan konfigurasi sebagai berikut:

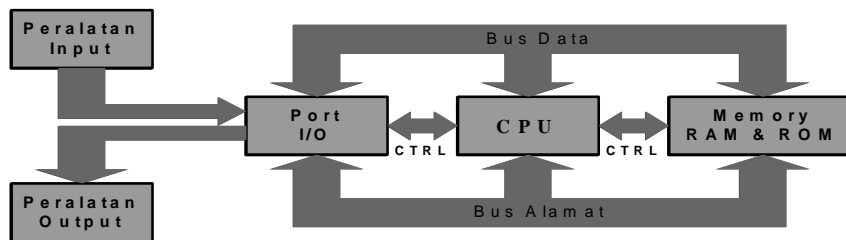
1. RAM dengan kapasitas 256 bytes.
2. EEPROM dengan kapasitas 512 bytes.
3. *Port A*, merupakan kombinasi masukan dan keluaran sebanyak 8 bit, yaitu *port A0 – A2* untuk masukan, *A3 – A6* sebagai keluaran dan *A7* dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran.
4. *Port B* dan *Port C*, merupakan *port data* dan alamat. *Port B* untuk alamat atas (*ADDR8, ADDR9, ..., ADDR15*) dan *Port C* untuk data dan alamat bawah (*ADDR0, ADDR1, ... , ADDR7*).
5. *Port D*, yang dapat di kembangkan sebagai jalur *SPI (Serial Peripheral Interface)*.
6. *Port E*, *port masukan* baik analog maupun digital ke dalam sistem mikrokontroler M68HC11A1.

Register - register yang terdapat dalam mikrokontroler ini adalah :

1. Akumulator A dan B
Akumulator A dan akumulator B adalah

register 8 bit untuk tujuan umum yang digunakan untuk menahan *operand* dan hasil dari perhitungan aritmetika atau manipulasi data. Dua akumulator ini bila digabungkan menjadi satu akumulator 16 bit yang disebut dengan akumulator D.

2. Indeks Register X (IX)
Indeks register X merupakan register 16 bit yang digunakan untuk pengalamatan terindeks.
3. Indeks Register Y (IY)
Indeks register Y juga digunakan sebagai pengalamatan terindeks.
4. *Stack Pointer (SP)*
Stack pointer merupakan bagian dari RAM yang difungsikan sebagai penyimpanan data sementara dalam bentuk tumpukan (*stack*) sebelum data tersebut digabungkan untuk dieksekusi bersama dengan data-data yang lain.
5. *Program Counter (PC)*
PC merupakan register 16 bit yang berfungsi untuk menampung alamat-alamat perintah berikutnya yang akan diterjemahkan dan dieksekusi.
6. *Condition Code Register (CCR)*
CCR adalah register 8 bit, di mana masing-masing bit mempunyai arti atas instruksi yang baru saja dieksekusi dan dapat dijelaskan berikut ini :
 - a. *Carry/Borrow (C)* : bit ini akan set jika ada *carry/borrow* yang dihasilkan oleh suatu operasi aritmetika. Bit C juga dipengaruhi oleh instruksi pergeseran dan rotasi.
 - b. *Overflow (V)* : akan diset jika dalam operasi aritmetikanya menghasilkan kelebihan, selain itu akan direset.
 - c. *Zerro (Z)* : akan diset jika hasil dari operasi aritmetika, logika, dan manipulasi data adalah nol, selain itu akan direset.
 - d. *Negative (N)* : akan diset jika hasil dari operasi aritmetika, logika dan manipulasi data adalah negatif, selain itu akan direset, hasilnya akan negatif jika MSB-nya berlogika satu.
 - e. *Interrupt Mask (I)* : bit ini akan diset oleh perangkat keras dan instruksi program untuk *disable* seluruh penutup sumber interupsi.
 - f. *Half Carry (H)* : bit ini akan diset ke logika 1 ketika bawaan terjadi antara bit 3 dan 4 dari ALU dalam operasi 'ADD', 'ABA', dan 'ADC', selain itu bit-H akan direset.
 - g. *X Interrupt Mask (X)* : bit ini akan diset hanya oleh perangkat keras (RESET atau XIRQ), dan



Gambar 7. Blok diagram mikrokontroler

direset ke nol hanya oleh instruksi (TAP dan RTI).

i) *Interupsi Free Running Counter*

Free running counter mencacah mulai dari nol ketika mikrokontroler mengalami reset. Selama catu daya masih diberikan ke mikrokontroler maka *free running counter* akan tetap mencacah dari \$0000 sampai \$FFFF. Bila cacahan sudah mencapai \$FFFF dan menuju ke \$0000 maka CPU akan mengeset status flag dan kemudian mulai mencacah dari nol lagi. Keadaan mencacah ini berlangsung terus menerus sampai mikrokontroler mengalami reset.

Interupsi bekerja dengan memuat *program counter* dengan alamat khusus, dan kemudian mengeksekusi rutin yang terdapat pada alamat tersebut. Interupsi ini mengakibatkan CPU melakukan operasi *push* untuk menempatkan isi akumulator dan register ke *stack*. Isi akumulator yang disimpan adalah isi akumulator A dan akumulator B, sedangkan isi register yang disimpan adalah isi indeks register, *program counter*, condition code register. Ketika status flag set, CPU akan mengeksekusi interupsi pada alamat khusus yang telah ditentukan oleh perancang. Alamat khusus ini disimpan pada memori \$00D1 - \$00D2 yang berada dalam alamat rutin interupsi yang dimulai dari alamat \$00D0. Sedangkan awal dari alamat rutin interupsi ini disimpan pada memori ROM di alamat \$FFDE - \$FFDF. Setelah eksekusi interupsi selesai, CPU melakukan operasi *pull* untuk mengembalikan isi akumulator dan register ke tempat semula.

ii) *Konversi Analog Ke Digital (ADC)*

Mikrokontroler M68HC11A1 dapat melakukan konversi sinyal analog ke digital tanpa memerlukan blok rangkaian terpisah dari sistem minimum mikrokontroler, karena pada keping *chip* mikrokontroler sendiri sudah tersedia fasilitas untuk ADC. Mikrokontroler ini dapat melakukan ADC untuk delapan saluran sinyal masukan.

ADC pada mikrokontroler ini mengkonversi masukan analog ke nilai ekuivalen biner 8 bit atau bilangan \$00 - \$FF pada sistem bilangan heksadesimal. Besarnya nilai *range* pengkonversian bergantung dari dua buah tegangan referensi yang diberikan, yaitu V_{REFH} dan V_{REFL} pada pena 52 dan 51 dari *chip* mikrokontroler. Mikrokontroler

M68HC11A1 dapat menskala masukan dengan referensi 0 V sampai 5 V. Nilai tegangan terkecil yang dapat dikenali atau disebut dengan *step size* dari proses ADC ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta V = V_{REFH} 2^{-n} \quad (9)$$

di mana :

ΔV = tegangan terkecil yang dapat dikenali

n = jumlah bit (dalam hal ini n = 8)

Dari sini dapat dihitung besarnya *step-size* dari proses ADC yaitu sebesar :

$$\Delta V = V_{REFH} 2^{-n}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= (5V) 2^{-8} \\ &= 19,531 \text{ mV} \end{aligned}$$

Sinyal masukan untuk ADC diumpangkan pada *Port E*, yaitu *port* E0 sampai dengan *Port* E7, di mana saluran masukan untuk ADC tersebut dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Sinyal masukan yang diumpangkan pada *Port E* untuk proses ADC tersebut dinamai dengan AN0 sampai AN7. M68HC11A1 juga memberikan pilihan tentang mode ADC yang akan digunakan, yaitu :

1. Mengkonversi satu masukan analog pada ANx, membuat empat hasil konversi, kemudian status *flag* di set dan berhenti.
2. Mengkonversi masukan analog pada grup input AN0-AN3 atau AN4-AN7, membuat empat konversi, satu untuk tiap masukan, status *flag* di set, kemudian berhenti.
3. Mengkonversi satu masukan analog pada ANx secara kontinyu, status *flag* di set setiap empat konversi.
4. Mengkonversi masukan analog pada grup input AN0-AN3 atau AN4-AN7 secara kontinyu, status *flag* di set setiap empat konversi.

iii) *Antar Muka Komunikasi Serial (SCI)*

SCI merupakan sistem komunikasi data secara serial tak sinkron. Tak sinkron berarti data yang diterima dan dikirim tidak menggunakan pewaktu yang sama melainkan menggunakan bit – bit khusus yang menandakan awal dan akhir data. SCI dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan komputer

(contoh : melalui jalur RS232) maupun membentuk suatu jaringan komunikasi serial dengan mikrokontroler lainnya.

Dalam komunikasi serial menggunakan SCI, M68HC11A1 menyediakan dua pena sebagai masukan dan keluaran, yaitu pena RxD (jalur data terima) dan pena TxD (jalur data kirim). Data yang diterima akan dikirim ke register penggeser SIPO (*Serial In Paralel Out*) yang kemudian data paralel tersebut akan dikirim ke RDR *Buffer (Receive Data Register Buffer)*. CPU akan membaca data yang ada di RDR *Buffer* sebagai data terima. TxD mengirim data ke TDR *Buffer (Transmit Data Register Buffer)* yang kemudian menuju register penggeser PISO (*Paralel In Serial Out*) untuk mengirim data secara serial tak sinkron melalui pena TxD. Data yang ditransfer pada jalur komunikasi serial ini mempunyai format 8 bit data ditambah dengan bit awal yang menandai awal kata dan bit akhir yang menandai akhir kata.

iv) *Serial Peripheral Interface (SPI)*

SPI adalah penyedia masukan / keluaran (I/O) untuk transmisi data dalam bentuk serial secara sinkron. Karakteristik SPI adalah sebagai berikut:

1. Transmisi data dalam SPI merupakan transmisi data dalam bentuk serial dengan menggunakan pewaktu yang sama dari mikrokontroler M68HC11A1 baik pada saat mengirim atau menerima data.
2. Pada SPI terdapat sistem *master* dan *slave*. *Slave* dapat berjumlah satu buah atau lebih, dan *master* dapat menyeleksi dengan *slave* yang mana akan melakukan transmisi data.
3. *Master* menyiapkan proses pengiriman data dengan pengiriman *clock* yang sinkron. *Master* mengakhiri transmisi data setelah 8 bit *clock* telah terkirim.
4. Transmisi data dalam bentuk dua arah (*full duplex*). Untuk membangun sistem ini diperlukan 4-bit port dari mikrokontroler M68HC11A1, yaitu:
 - a. MOSI (*Master Out Slave In*), port PD2.
 - b. MISO (*Master In Slave Out*), port PD3.
 - c. SCK (*Serial Clock*), port PD4.
 - d. SS (*Slave Select*), port PD5.

III. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

Modul pelatihan kendali logika fuzzy terdiri dari dua bagian, yaitu bagian perangkat lunak dan perangkat keras yang bersama – sama melaksanakan fungsi kendali terhadap suatu plant berdasarkan logika fuzzy.

Perangkat lunak terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal menggunakan komputer (Dendy Faizal, 2003)[5] dan bagian pengendali

plant menggunakan mikrokontroler M68HC11A1 berbasis logika fuzzy yang dibuat oleh peneliti. Perangkat keras berfungsi sebagai antar muka perangkat lunak pengendali sistem dengan plant terkendali dan komputer melalui jalur komunikasi serial.

Dua bagian yang menyusun modul pelatihan kendali logika fuzzy dijelaskan pada pembahasan berikut ini :

1. Bagian komputer

Pengolahan basis pengetahuan oleh komputer dan komunikasi data dari dan ke mikrokontroler menggunakan pemrograman berbasis Microsoft Visual Basic 6.0. Komputer digunakan untuk melakukan fungsi pengaturan basis pengetahuan fuzzy yang akan digunakan oleh mikrokontroler untuk mengendalikan plant. Basis pengetahuan tersebut merupakan semesta pembicaraan dari fungsi keanggotaan fuzzy, jumlah dan jenis fungsi keanggotaan yang digunakan, grafik pemetaan data tegas ke dalam data fuzzy, dan kaidah atur fuzzy yang digunakan.

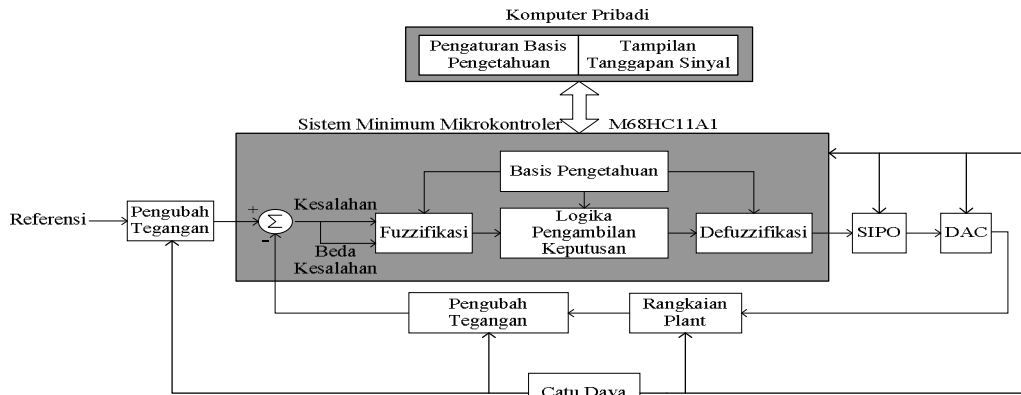
Fungsi lainnya adalah melakukan pengamatan sinyal kendali ke plant dan pengamatan tanggapan sinyal plant terhadap suatu referensi, melakukan proses *download* basis pengetahuan fuzzy ke mikrokontroler dan melakukan proses *upload* basis pengetahuan fuzzy yang digunakan oleh mikrokontroler, meminta mikrokontroler menetapkan plant pada kondisi awal atau tidak..

Bagian komputer ini tidak ditangani oleh peneliti. Peneliti menangani pengolahan basis pengetahuan fuzzy berdasarkan kendali logika fuzzy serta pengendalian sistem plant menggunakan mikrokontroler.

2. Bagian mikrokontroler

Bagian mikrokontroler merupakan bagian yang ditangani oleh peneliti. Mikrokontroler yang digunakan adalah tipe M68HC11A1. Dalam penelitian tugas akhir ini, mikrokontroler berfungsi :

- a. Melakukan proses *download* basis pengetahuan dari komputer melalui komunikasi serial. Hasil proses *download* ini disimpan dalam memori sistem minimum M68HC11A1.
- b. Melakukan proses *upload* basis pengetahuan fuzzy yang tersimpan dalam memori sistem minimum M68HC11A1 ke komputer melalui komunikasi serial.
- c. Melakukan proses pengendalian plant berdasarkan logika fuzzy dengan berpedoman kepada basis pengetahuan fuzzy yang dikirim oleh komputer.
- d. Mengirimkan data – data kendali plant dan tanggapan sinyal plant terhadap referensi yang diminta oleh komputer melalui jalur komunikasi serial.
- e. Menetapkan plant pada kondisi awal atau tidak berdasarkan interupsi yang diberikan oleh komputer.



Gambar 8. Blok diagram Modul Pelatihan Kendali Logika Fuzzy

Secara keseluruhan modul pelatihan kendali logika fuzzy ditunjukkan pada gambar 8.

A. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras ini digunakan sebagai pendukung perangkat lunak pemrograman untuk melaksanakan fungsi pengendalian sistem terhadap suatu plant. Di bawah ini penjelasan tentang perangkat keras yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

Dengan melihat blok diagram pada gambar 8, perangkat keras modul kendali logika fuzzy terdiri dari blok fungsional sebagai berikut :

1. Unit Catu Daya.

Blok ini berfungsi memberikan catu daya terhadap seluruh rangkaian perangkat keras.

2. Sistem Minimum Mikrokontroler M68HC11A1.

Blok ini berfungsi sebagai unit kendali terhadap rangkaian plant dan mampu berkomunikasi dengan perangkat pengaturan basis pengetahuan dan penampil tanggapan sinyal (Dendy Faizal, 2003)[5].

Sistem minimum M68HC11A1 merupakan hasil dari gabungan beberapa komponen pendukung, yaitu :

- EEPROM (2864).
- RAM (6264).
- IC pengawas sandi alamat (*address decoder*).
- IC penahan alamat (*latch*).
- Pengubah RS-232.

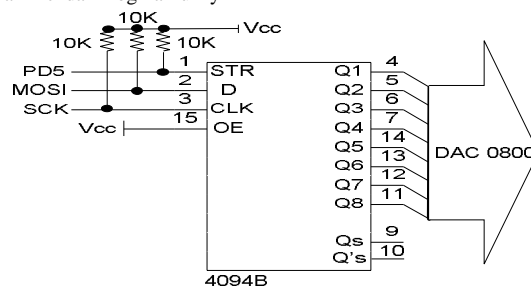
Secara garis besar, sistem minimum mikrokontroler M68HC11A1 ditunjukkan pada gambar 15.

3. SIPO (*Serial In Paralel Out*).

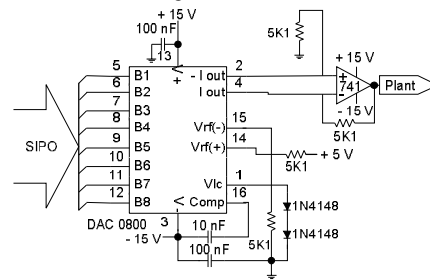
Blok ini berfungsi mengubah aliran data serial yang berasal dari sistem SPI mikrokontroler M68HC11A1 menjadi aliran data paralel. Rangkaian SIPO ditunjukkan pada gambar 9.

4. DAC (*Digital to Analog Converter*).

Blok ini berfungsi mengubah bentuk data kendali digital yang berasal dari mikrokontroler M68HC11A1 menjadi data kendali analog. Rangkaian DAC ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 9. Rangkaian SIPO



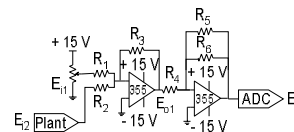
Gambar 10. Rangkaian DAC

5. Pengubah Tegangan.

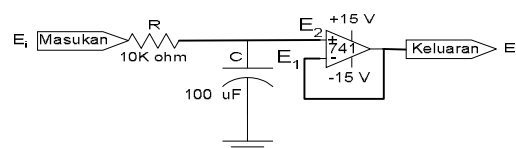
Blok ini berfungsi mengubah jangkauan tegangan masukan dari plant yang bernilai - 5 volt sampai 5 volt menjadi tegangan keluaran ke ADC dengan jangkauan 0 volt sampai 5 volt. Rangkaian pengubah tegangan ditunjukkan pada gambar 11.

6. Rangkaian Plant.

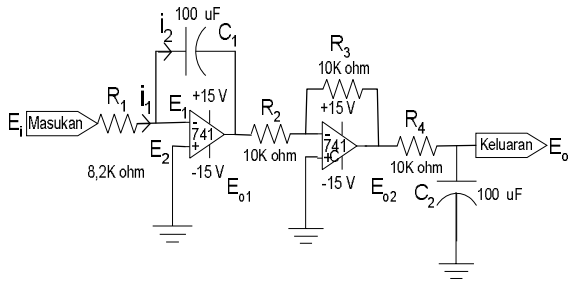
Blok ini berfungsi sebagai sistem yang terkendali oleh modul kendali logika fuzzy. Ada 3 tipe plant yang digunakan, yaitu plant orde 1, orde 2, dan orde 3 yang ditunjukkan pada gambar 12 sampai gambar 14.



Gambar 11. Rangkaian Pengubah Tegangan



Gambar 12. Rangkaian Plant Orde 1

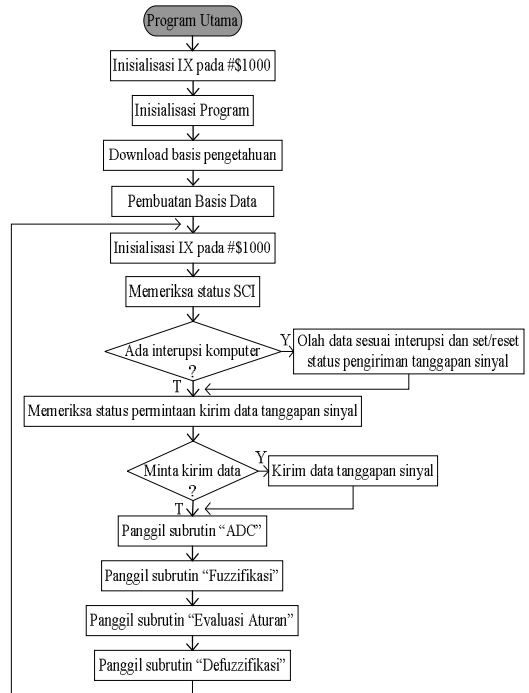


Gambar 13. Rangkaian Plant Orde 2

B. Perancangan Perangkat Lunak

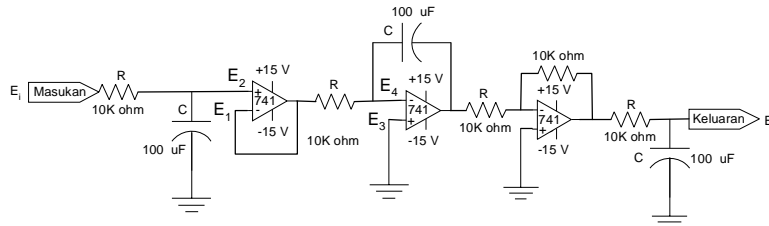
Perangkat lunak yang digunakan oleh peneliti adalah bahasa *assembly* mikrokontroler M68HC11. Diagram alir program utama kendali logika fuzzy ditunjukkan pada gambar 16. Pada diagram alir gambar 16 ditunjukkan adanya inisialisasi awal program untuk mengkondisikan register – register internal agar dapat melaksanakan fungsi kendali logika fuzzy. Pencapaian kondisi awal tersebut diikuti dengan melakukan *download* basis pengetahuan fuzzy dari komputer melalui jalur komunikasi serial. Setelah ditentukan tipe MF yang digunakan pada basis pengetahuan tersebut, dilakukan pembuatan basis data. Proses selanjutnya memeriksa ada tidaknya data serial yang masuk ke sistem mikrokontroler seperti yang ditunjukkan pada gambar 17 sampai gambar 19. Bila ada data yang masuk, dilakukan pemeriksaan data tersebut termasuk interupsi minta *download* ulang basis pengetahuan fuzzy dari komputer atau minta *upload* basis pengetahuan fuzzy ke komputer atau minta kirim data tanggapan sinyal dengan cara mengeset/mereset penanda atau minta plant

ditetapkan pada kondisi awal atau tidak. Bila tidak ada data yang masuk, kirim data tanggapan sinyal ke komputer bila penanda diset dan tidak mengirim bila penanda direset.

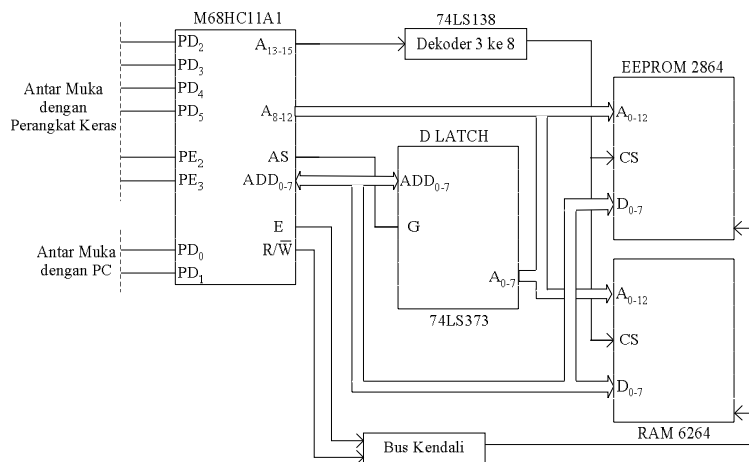


Gambar 16. Diagram alir program utama

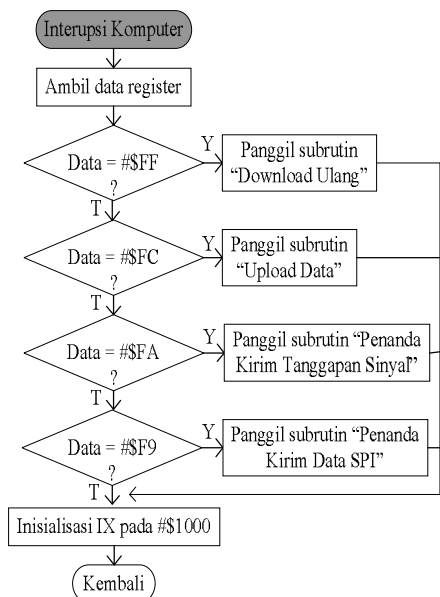
Setelah rutin pengecekan interupsi selesai, proses digitalisasi masukan dimulai untuk mendapatkan dua jenis data masukan, yaitu masukan kesalahan dan beda kesalahan yang didapat dari data digital acuan dan keluaran plant.



Gambar 14. Rangkaian Plant Orde 3



Gambar 15. Sistem Minimum Mikrokontroler M68HC11



Gambar 17. Interupsi dari komputer

Rutin selanjutnya adalah rutin sistem fuzzy, yang terdiri dari proses fuzzifikasi, evaluasi aturan, dan defuzzifikasi.

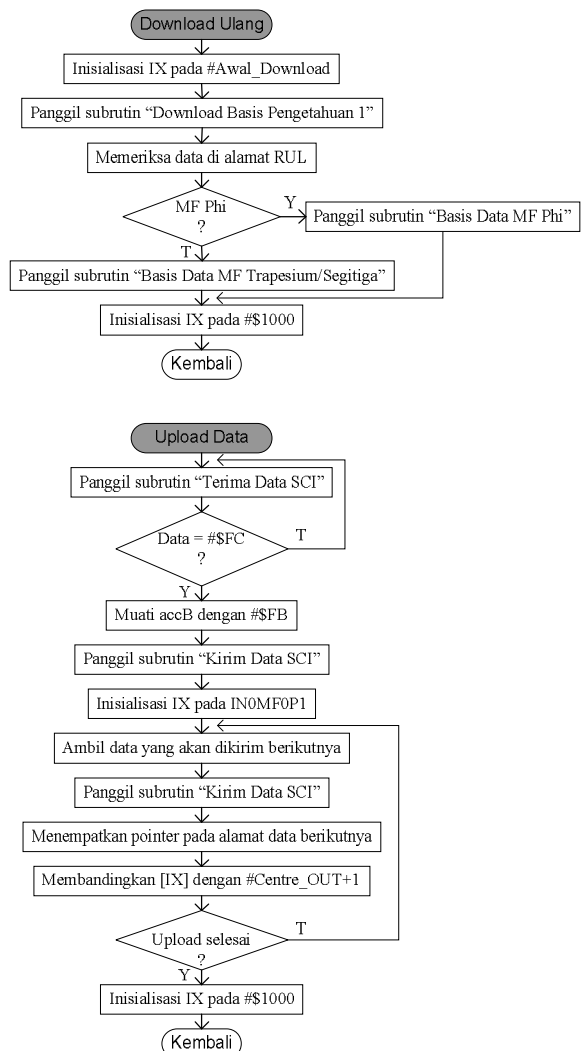
Rutin fuzzifikasi ditunjukkan pada gambar 20. Rutin ini berfungsi mengubah data tegas masukan menjadi data fuzzy masukan dengan mengambil datamasukan fuzzy yang bersesuaian di basis data.

Rutin evaluasi aturan ditunjukkan pada gambar 21, yang berfungsi menentukan data keluaran fuzzy. Data ini didapatkan dengan mengecek tiap aturan di mana tiap aturan akan mencari derajat MF terkecil pada bagian *antecedent* dan mendapatkan derajat MF terbesar pada bagian *consequent* dengan variabel keluaran yang bersesuaian. Setelah semua aturan selesai dieksekusi, semua derajat MF keluaran dikumpulkan dan siap melakukan proses defuzzifikasi.

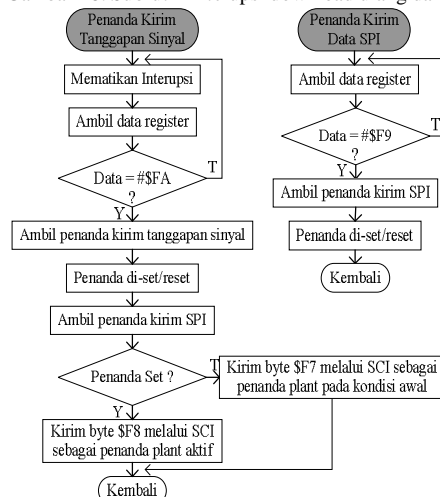
Rutin defuzzifikasi ditunjukkan pada gambar 22, berfungsi mendapatkan data kendali tegas berdasarkan metode *Weighted Average*. Data kendali ini kemudian dikirim melalui port serial SPI menuju ke plant. Tanggapan sinyal dari plant selanjutnya akan diumpun balik ke sistem pengendali fuzzy. Proses umpan balik ini akan terus menerus dieksekusi dengan tetap memperhatikan interupsi dari komputer maupun interupsi internal mikrokontroler.

IV. PENGUJIAN MODUL KENDALI LOGIKA FUZZY

Pengujian modul kendali logika fuzzy dengan menggunakan plant simulator dilakukan untuk menguji kinerja modul agar dapat digunakan sebagai modul pelatihan fuzzy. Dalam pengujian ini digunakan 3 tipe plant simulator, yaitu plant orde 1, orde 2, dan orde 3. Plant simulator ini diberikan suatu kendali fuzzy dengan menggunakan 9 basis pengetahuan yang berbeda-beda dengan fungsi keanggotaan yang terdiri dari fungsi keanggotaan



Gambar 18. Subrutin interupsi download ulang dan upload data

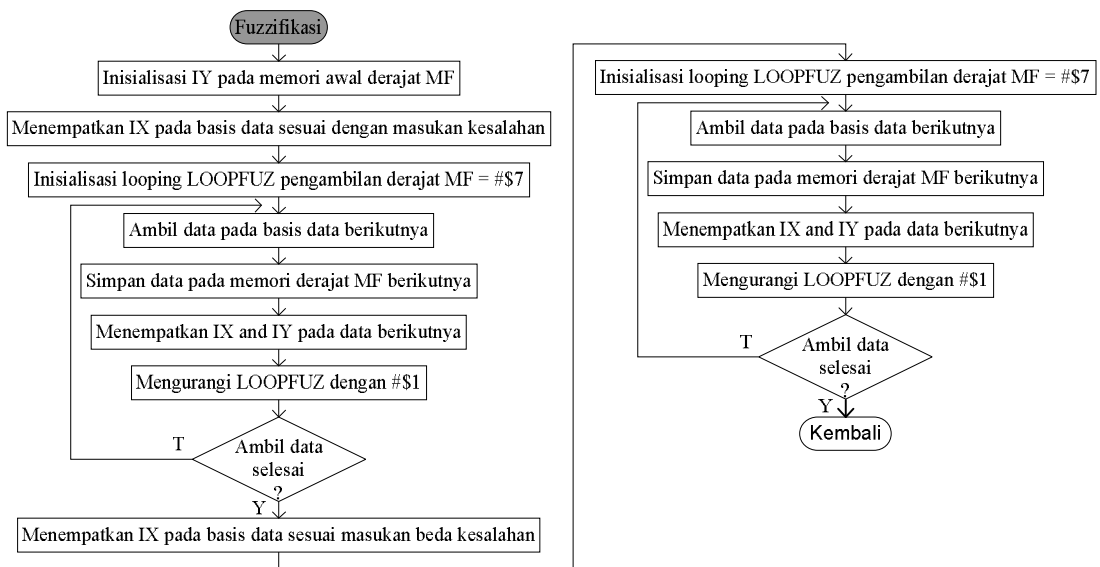


Gambar 19. Subrutin interupsi set/reset penanda kirim tanggapan sinyal dan penanda kirim data SPI

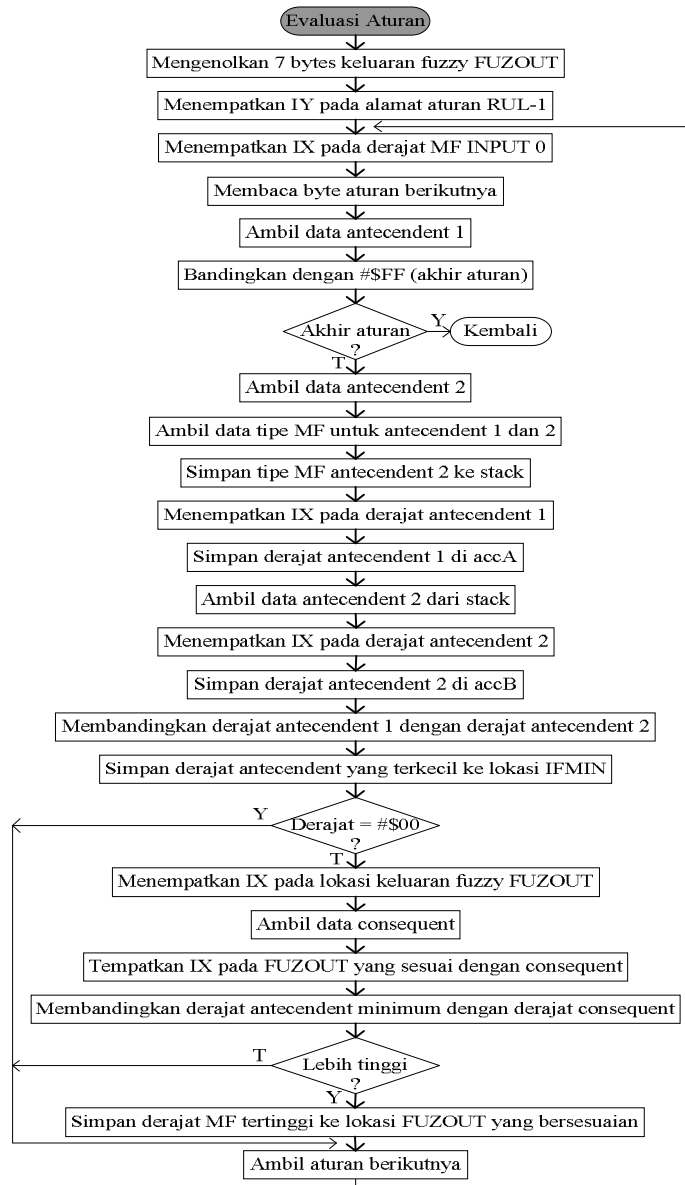
segitiga, trapesium dan phi serta jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 3, 5 dan 7.

1. Basis Pengetahuan 1

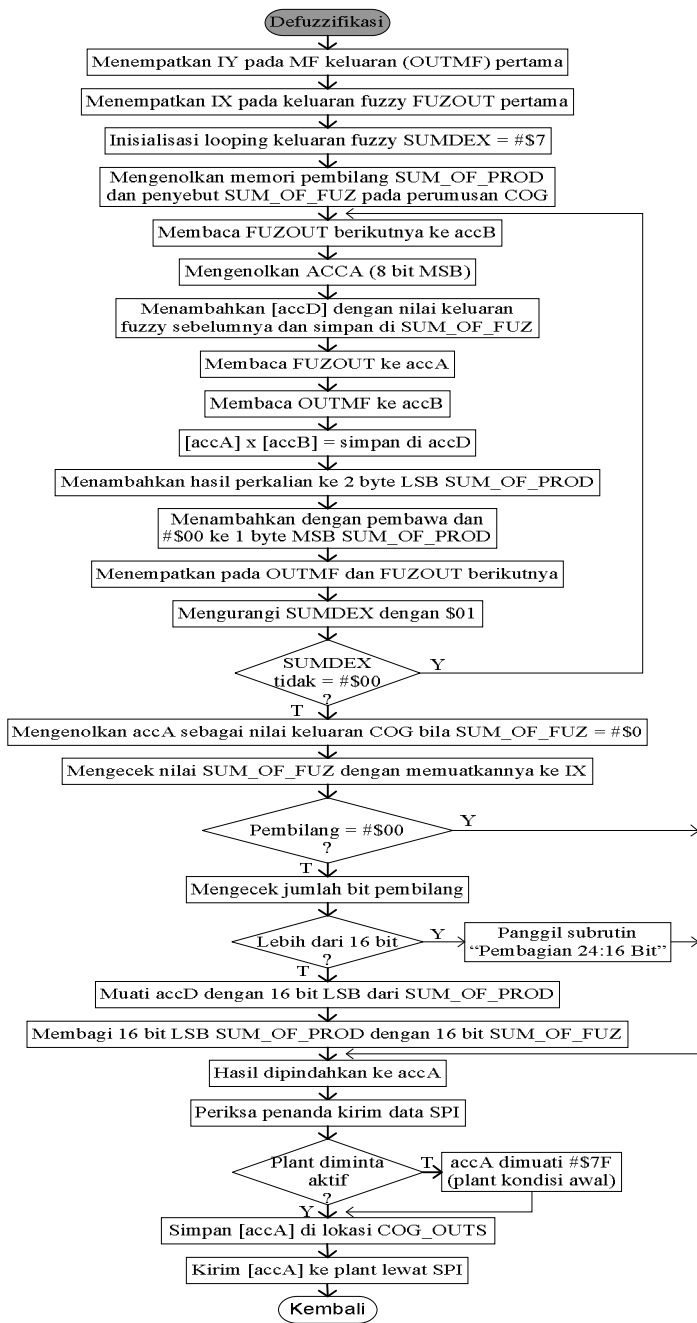
Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 2 (MF Segitiga), basis pengetahuan 1 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 1 sampai tabel 5.



Gambar 20. Proses Fuzzifikasi



Gambar 21. Proses Evaluasi Aturan



Gambar 22. Proses Defuzzifikasi

Tabel 1. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 1

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Segitiga	
MF dError	MF Segitiga	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	3	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 2. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 1

MF Error	a	b	c
Negative	-5000	-5000	0
Zero	-625	0	625
Positive	0	5000	5000

Tabel 3. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 1

MF dError	a	b	c
Negative	-5000	-5000	0
Zero	-2500	0	2500
Positive	0	5000	5000

Tabel 4. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 1

MF Out	a
Negative	-5000
Zero	0
Positive	5000

Tabel 5. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 1

Operator AND		Error		
		Negative	Zero	Positive
dError	Negative	Negative	Negative	Positive
	Zero	Negative	Zero	Positive
	Positive	Negative	Positive	Positive

2. Basis Pengetahuan 2

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (Singleton) dan gambar 2 (Segitiga), basis pengetahuan 2 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 6 sampai 10.

Tabel 6. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 2

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Segitiga	
MF dError	MF Segitiga	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	5	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 7. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 2

MF Error	a	b	c
Negative Large	-5000	-5000	-1250
Negative Small	-2500	-1250	0
Zero	-1250	0	1250
Positive Small	0	1250	2500
Positive Large	1250	5000	5000

Tabel 8. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 2

MF dError	a	b	c
Negative Large	-5000	-5000	-2500
Negative Small	-5000	-2500	0
Zero	-2500	0	2500
Positive Small	0	2500	5000
Positive Large	2500	5000	5000

Tabel 9. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 2

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative Small	-2500
Zero	0
Positive Small	2500
Positive Large	5000

3. Basis Pengetahuan 3

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (Singleton) dan gambar 2 (MF Segitiga), basis pengetahuan 3 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 11 sampai 15.

Tabel 10. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 2

Operator AND		Error				
		Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive Large
	Positive Large	Negative Large	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive Large

Tabel 15. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 3

Operator AND		Error						
		Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive	Positive Small	Positive	Positive Large
Positive Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive	Positive Large	

Tabel 11. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 3

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Segitiga	
MF dError	MF Segitiga	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	7	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 12. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 3

MF Error	a	b	c
Negative Large	-5000	-5000	-1250
Negative	-1875	-1250	-625
Negative Small	-1250	-625	0
Zero	-625	0	625
Positive Small	0	625	1250
Positive	625	1250	1875
Positive Large	1250	5000	5000

Tabel 13. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 3

MF dError	a	b	c
Negative Large	-5000	-5000	-2500
Negative	-3750	-2500	-1250
Negative Small	-2500	-1250	0
Zero	-1250	0	1250
Positive Small	0	1250	2500
Positive	1250	2500	3750
Positive Large	2500	5000	5000

Tabel 14. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 3

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative	-3333
Negative Small	-1666
Zero	0
Positive Small	1666
Positive	3333
Positive Large	5000

4. Basis Pengetahuan 4

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 3 (MF Trapesium), basis pengetahuan 4 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 16 sampai 20.

Tabel 16. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 4

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Trapesium	
MF dError	MF Trapesium	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	3	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 17. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 4

MF Error	a	b	c	d
Negative	-5000	-5000	-1250	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive	0	1250	5000	5000

Tabel 18. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 4

MF dError	a	b	c	d
Negative	-5000	-5000	-2500	0
Zero	-2500	-200	200	2500
Positive	0	2500	5000	5000

Tabel 19. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 4

MF Out	a
Negative	-5000
Zero	0
Positive	5000

Tabel 20. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 4

Operator AND		Error		
		Negative	Zero	Positive
dError	Negative	Negative	Negative	Positive
	Zero	Negative	Zero	Positive
	Positive	Negative	Positive	Positive

5. Basis Pengetahuan 5

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 3 (MF Trapesium), basis pengetahuan 5 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 21 sampai 25.

Tabel 21. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 5

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Trapesium	
MF dError	MF Trapesium	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	5	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 22. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 5

MF Error	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-2500	-1250
Negative Small	-2500	-1450	-1050	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive Small	0	1050	1450	2500
Positive Large	1250	2500	5000	5000

Tabel 25. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 5

Operator AND		Error				
		Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive Large
	Positive Large	Negative Large	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive Large

Tabel 23. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 5

MF dError	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-3800	-2000
Negative Small	-3800	-2000	-1666	0
Zero	-1866	-200	200	1866
Positive Small	0	1666	2000	3800
Positive Large	2000	3800	5000	5000

Tabel 24. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 5

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative Small	-2500
Zero	0
Positive Small	2500
Positive Large	5000

6. Basis Pengetahuan 6

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 3 (MF Trapesium), basis pengetahuan 6 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 26 sampai 30.

Tabel 26. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 6

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Trapesium	
MF dError	MF Trapesium	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	7	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 27. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 6

MF Error	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-2500	-1250
Negative	-1875	-1450	-1050	-625
Negative Small	-1250	-825	-425	0
Zero	-625	-200	200	625
Positive Small	0	425	825	1250
Positive	625	1050	1450	1875
Positive Large	1250	2500	5000	5000

Tabel 28. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 6

MF dError	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-3750	-2500
Negative	-3750	-2700	-2300	-1250
Negative Small	-2500	-1450	-1050	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive Small	0	1050	1450	2500
Positive	1250	2300	2700	3750
Positive Large	2500	3750	5000	5000

Tabel 29. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 6

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative	-3333
Negative Small	-1666
Zero	0
Positive Small	1666
Positive	3333
Positive Large	5000

Tabel 30. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 6

Operator AND		Error						
		Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive	Positive Small	Positive	Positive Large
Positive Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive	Positive Large	

7. Basis Pengetahuan 7

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 4 (MF Phi), basis pengetahuan 7 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 31 sampai 35.

Tabel 31. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 7

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Phi	
MF dError	MF Phi	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	3	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 32. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 7

MF Error	a	b	c	d
Negative	-5000	-5000	-1250	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive	0	1250	5000	5000

Tabel 33. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 7

MF dError	a	b	c	d
Negative	-5000	-5000	-2500	0
Zero	-2500	-200	200	2500
Positive	0	2500	5000	5000

Tabel 34. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 7

MF Out	a
Negative	-5000
Zero	0
Positive	5000

Tabel 35. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 7

Operator AND		Error		
		Negative	Zero	Positive
dError	Negative	Negative	Negative	Positive
	Zero	Negative	Zero	Positive
	Positive	Negative	Positive	Positive

8. Basis Pengetahuan 8

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 4 (MF Phi), basis pengetahuan 8 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 36 sampai 40.

Tabel 40. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 8

Operator AND		Error				
		Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive Large
	Positive Large	Negative Large	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive Large

Tabel 36. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 8

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Phi	
MF dError	MF Phi	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	5	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 37. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 8

MF Error	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-2500	-1250
Negative Small	-2500	-1450	-1050	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive Small	0	1050	1450	2500
Positive Large	1250	2500	5000	5000

Tabel 38. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 8

MF dError	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-3800	-2000
Negative Small	-3800	-2000	-1666	0
Zero	-1866	-200	200	1866
Positive Small	0	1666	2000	3800
Positive Large	2000	3800	5000	5000

Tabel 39. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 8

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative Small	-2500
Zero	0
Positive Small	2500
Positive Large	5000

9. Basis Pengetahuan 9

Dengan memperhatikan parameter – parameter pada gambar 5 (MF Singleton) dan gambar 4 (MF Phi), basis pengetahuan 9 mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 41 sampai 45.

Tabel 41. Parameter Fuzzy Basis Pengetahuan 9

Parameter Fuzzy	Setting Parameter	Keterangan
MF Error	MF Phi	
MF dError	MF Phi	
MF Out	MF Singleton	
Jumlah MF	7	
Jangkauan Min Error	-5000	milivolt
Jangkauan Max Error	5000	milivolt
Jangkauan Min dError	-5000	milivolt
Jangkauan Max dError	5000	milivolt
Jangkauan Min Out	-5000	milivolt
Jangkauan Max Out	5000	milivolt

Tabel 42. Batas MF Kesalahan Basis Pengetahuan 9

MF Error	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-2500	-1250
Negative	-1875	-1450	-1050	-625
Negative Small	-1250	-825	-425	0
Zero	-625	-200	200	625
Positive Small	0	425	825	1250
Positive	625	1050	1450	1875
Positive Large	1250	2500	5000	5000

Tabel 43. Batas MF Beda Kesalahan Basis Pengetahuan 9

MF dError	a	b	c	d
Negative Large	-5000	-5000	-3750	-2500
Negative	-3750	-2700	-2300	-1250
Negative Small	-2500	-1450	-1050	0
Zero	-1250	-200	200	1250
Positive Small	0	1050	1450	2500
Positive	1250	2300	2700	3750
Positive Large	2500	3750	5000	5000

Tabel 44. Batas MF Kendali Basis Pengetahuan 9

MF Out	a
Negative Large	-5000
Negative	-3333
Negative Small	-1666
Zero	0
Positive Small	1666
Positive	3333
Positive Large	5000

A. Pengujian Rangkaian SIPO

Dengan memperhatikan gambar rangkaian SIPO pada gambar 9, dilakukan pengecekan keluaran data digital dari rangkaian SIPO berdasarkan masukan data serial digital dari mikrokontroler. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada tabel 46.

B. Pengujian Rangkaian DAC

Dengan memperhatikan rangkaian DAC yang ditunjukkan pada gambar 10, dilakukan pengecekan keluaran tegangan analog dari rangkaian DAC berdasarkan masukan data digital dari rangkaian SIPO. Hasil pengujian diperlihatkan pada tabel 47.

Tabel 45. Basis aturan fuzzy Basis Pengetahuan 9

Operator AND		Error						
		Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
dError	Negative Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Large	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative	Positive Small	Positive	Positive Large
	Negative Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Negative Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Zero	Negative Large	Negative	Negative Small	Zero	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive Small	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Small	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive	Positive Small	Positive	Positive Large
	Positive Large	Negative Large	Negative	Negative Small	Positive Large	Positive Small	Positive	Positive Large

Tabel 46. Hasil pengujian rangkaian SIPO

Masukan Digital	Keluaran SIPO	Masukan Digital	Keluaran SIPO
\$00	0000 0000	\$87	1000 0111
\$0F	0000 1111	\$96	1001 0110
\$1E	0001 1110	\$A5	1010 0101
\$2D	0010 1101	\$B4	1011 0100
\$3C	0011 1100	\$C3	1100 0011
\$4B	0100 1011	\$D2	1101 0010
\$5A	0101 1010	\$E1	1110 0001
\$69	0110 1001	\$F0	1111 0000
\$78	0111 1000	\$FF	1111 1111

Tabel 47. Hasil pengujian rangkaian DAC

Masukan Digital	Keluaran DAC (Volt)	Masukan Digital	Keluaran DAC (Volt)
\$00	-4,970	\$87	0,279
\$0F	-4,391	\$96	0,863
\$1E	-3,807	\$A5	1,442
\$2D	-3,228	\$B4	2,025
\$3C	-2,644	\$C3	2,613
\$4B	-2,054	\$D2	3,197
\$5A	-1,470	\$E1	3,778
\$69	-0,891	\$F0	4,360
\$78	-0,307	\$FF	4,940

C. Pengujian Rangkaian Pengubah Tegangan

Dengan memperhatikan rangkaian pengubah tegangan yang ditunjukkan pada gambar 11, dilakukan pengecekan keluaran rangkaian pengubah tegangan berdasarkan variabel masukan tegangan analog. Hasil pengujian diperlihatkan pada tabel 48.

Tabel 48. Hasil pengujian rangkaian Pengubah Tegangan

Masukan Analog (V)	Keluaran Pengubah Tegangan (V)	Masukan Analog (V)	Keluaran Pengubah Tegangan (V)
-5,009	-0,012	1,000	3,010
-4,007	0,490	2,002	3,516
-3,000	0,998	3,007	4,025
-2,000	1,500	4,001	4,523
-1,000	2,003	5,011	5,015
0,000	2,500		

D. Pengujian Pengiriman Data Serial SCI Ke Komputer

Pengujian ini dilakukan dengan mengirim data ke komputer melalui jalur SCI. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 49.

Tabel 49. Hasil pengujian pengiriman data ke komputer

Kirim (dari mikrokontroler)	Terima (tampilan komputer)
\$00	-4945,455
\$3F	-2524,242
\$7F	0
\$BE	2472,727
\$FF	4996,97

Tabel 50. Hasil Pengujian Modul dengan Plant Orde 1

Basis Pengetahuan	Waktu Tunda td (ms)	Waktu Naik tr (ms)	Waktu Penetapan ts (ms)	Waktu Puncak tp (ms)	Nilai Akhir (selama 20 detik)
1	351	405	702	-	2221,168
2	432	1053	1511	-	1667,11
3	351	972	1484	-	1898,315
4	270	756	1215	-	2135,912
5	324	972	1377	-	1589,029
6	351	945	1404	-	1902,832
7	270	486	810	-	2058,876
8	405	1026	1457	-	1748,704
9	351	837	1215	-	1824,55

Tabel 51. Hasil Pengujian Modul dengan Plant Orde 2

Basis Pengetahuan	Waktu Tunda td (ms)	Waktu Naik tr (ms)	Waktu Penetapan ts (ms)	Waktu Puncak tp (ms)	Nilai Akhir (selama 20 detik)
1	783	837	4696	2240	3163,309
2	1188	1835	2537	-	3232,126
3	999	1376	1997	2699	3239,671
4	891	972	3131	2078	3238,634
5	1161	1997	2780	-	3238,157
6	1053	1376	2024	2672	3235,676
7	756	891	8934	2240	3077,573
8	1161	1565	2375	-	3077,088
9	999	1322	4076	2834	3160,062

Tabel 52. Hasil Pengujian Modul dengan Plant Orde 3

Basis Pengetahuan	Waktu Tunda td (ms)	Waktu Naik tr (ms)	Waktu Penetapan ts (ms)	Waktu Puncak tp (ms)	Nilai Akhir (selama 20 detik)
1	1404	1106	10364	2996	3130,935
2	1862	1808	9042	4103	3234,012
3	1727	1457	11039	3671	3236,439
4	1404	1187	12686	4076	3244,359
5	1781	1727	9393	4076	3233,291
6	1565	1430	8637	3590	3231,764
7	1350	1079	18111	3077	3047,135
8	1835	1673	8367	4238	3078,807
9	1619	1430	13171	3644	3156,29

E. Pengujian Modul dengan Plant Orde 1

Pengujian menggunakan referensi sebesar 3263,504 satuan dan jangkauan tampilan sinyal dari -5000 sampai 5000 yang memberikan hasil pada tabel 50.

F. Pengujian Modul dengan Plant Orde 2

Pengujian menggunakan referensi sebesar 3263,504 satuan dan jangkauan tampilan sinyal dari -5000 sampai 5000 yang memberikan hasil pada tabel 51.

G. Pengujian Modul dengan Plant Orde 3

Pengujian menggunakan referensi sebesar 3263,504 satuan dan jangkauan tampilan sinyal dari -5000 sampai 5000 yang memberikan hasil pada tabel 52.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Catu daya yang tidak stabil mengakibatkan ketidakstabilan tegangan dalam sistem sehingga mengganggu kinerja perangkat keras kendali.
2. Rangkaian DAC dengan menggunakan IC 0800 membutuhkan catu daya yang lebih tinggi dari nilai tegangan acuan agar didapat jangkauan tegangan dari -5 volt sampai 5 volt karena bila digunakan catu daya dengan besar nilai yang sama menyebabkan proses pengubah jangkauan

tegangan tidak tercapai.

3. Dengan mengubah – ubah konstanta waktu pembuangan muatan pada rangkaian plant akan didapat waktu pembuangan muatan yang optimal sehingga penetapan kondisi awal terhadap plant menjadi lebih cepat dengan performa sistem yang tidak terlalu berosilasi.
4. Faktor integrasi $\frac{1}{s}$ dengan penguatan tegangan semakin besar pada sistem plant mengakibatkan perilaku sistem semakin tidak stabil sehingga pencapaian sistem menuju ke titik acuan semakin lama.
5. Ketidakstabilan tegangan pada tanggapan sinyal lebih mudah terlihat pada perangkat penampil tanggapan sinyal disebabkan kecepatan pengiriman data tanggapan sinyal tiap 16,38375 milidetik sehingga ripple yang kecilpun akan terlihat sebatas kecepatan pengiriman data tanggapan sinyal.
6. Penggunaan resistor variabel dengan presisi yang tinggi sangat dibutuhkan dalam rangkaian pengubah tegangan dari jangkauan tegangan -5 volt sampai 5 volt ke jangkauan tegangan 0 volt sampai 5 volt karena kepresisian yang rendah dapat mengakibatkan keluaran tegangan dari rangkaian pengubah tegangan yang terdiri dari

- hasil penjumlahan dan pengalihan memiliki *ripple* sehingga masukan tegangan yang diterima oleh sistem pengendali menjadi tidak stabil dan mengganggu kinerja kendali sistem keseluruhan.
7. Untuk menghindari rutin program yang terlalu lama akibat proses fuzzifikasi terhadap MF yang mempunyai persamaan matematis yang lebih kompleks (contoh : MF Phi) maka penghitungan basis data dilakukan di luar rutin program, yaitu pada saat inialisasi program.
 8. Penggunaan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak tiga sampai tujuh pada plant orde 1, orde 2, dan orde 3 sudah mencukupi dalam memberikan picu terhadap aturan fuzzy agar tidak memberikan picu yang terlalu sering atau terlalu sedikit untuk perubahan masukan yang kecil yang akan mengakibatkan sistem menjadi lebih mudah beresilasi.
 9. Pengaturan *domain* dari MF pada masukan kesalahan dan beda kesalahan jangan terlalu kecil dengan semesta pembicaraan yang besar karena pada proses normalisasi bisa menyebabkan MF ternormalisasi menghasilkan MF singleton yang tidak sesuai dengan bentuk MF yang dirancang.

B. Saran

1. Agar perubahan tegangan dari jangkauan -5 volt sampai 5 volt ke jangkauan 0 volt sampai 5 volt dan proses perubahan data analog ke digital oleh ADC dapat lebih stabil maka diperlukan suatu catu daya yang lebih stabil sehingga tidak mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.
2. Lambatnya sinyal keluaran plant menuju 0 volt ketika terjadi perintah agar plant ditetapkan pada kondisi awal dapat diatasi dengan mengatur – atur konstanta waktu pembuangan agar lebih cepat dan menuju tegangan keluaran 0 volt juga lebih cepat dengan tetap memperhatikan perilaku sistem yang tidak terlalu beresilasi sehingga memudahkan dalam pengendalian sistem plant.
3. Modul ini dapat dikembangkan dengan menggunakan pengaturan basis pengetahuan dari perangkat keras sehingga penggunaan modul ini lebih fleksibel dan mudah dibawa.
4. Penggunaan relai untuk menghentikan plant secara mekanik dapat diterapkan dengan berpedoman kepada interupsi pengkondisian plant pada kondisi awal.
5. Agar memperluas wawasan pengguna tentang sistem kendali fuzzy, dapat dirancang penggunaan fungsi keanggotaan tipe lain.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Buku Modul Praktikum Mikroprosesor, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2000.
2. Christos .C. Halkias, Ph.D., Jacob Millman, Ph.D, M.O. Tjia, Ph.D., Prof .M. Barmawi, Ph.D., “Elektronika Terpadu - Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital”, Jilid 2, Erlangga, Jakarta, 1993.
3. “CMOS 4000 – Data and Comparison Tables”, Edisi 1, Tech/ECA Asia – Pacific Edition, 1997.
4. Dendy Faizal, “Perangkat Lunak Antar Muka Modul Pelatihan Kendali Logika Fuzzy”, Tugas Akhir, Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
5. Elektuur, Wasito .S., “Data Sheet Book 1 – Data IC Linear, TTL, dan CMOS (Kumpulan Data Penting Komponen Elektronika)”, PT. Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta, 1997.
6. Ellen Thro, F.Martin McNeill, Foreword by Ronald R.Yager, “Fuzzy Logic – A Practical Approach”, Academic Press Inc, 1994.
7. Fred Halsall, Paul Lister, Revision by Louis L.Covert, Richard A.Schmitt, “Dasar – Dasar Mikroprosesor, Edisi Kedua, PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta, 1992.
8. Hari Mulyadi, “Pengujian Kinerja Pengendali Logika Fuzzy pada Plant Simulator dan Motor DC”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 1999.
9. I.J. Nagrath, M. Gopal, “Control Systems Engineering”, Edisi 2.
10. Ir.Hermawan, “Pengukuran Listrik”, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 1989.
11. James Power, Jun Yan, Michael Ryan, “Using Fuzzy Logic”, Prentice Hall International (UK) Limited, Great Britain, 1994.
12. Joe Campbell, Ir. Khinardi Gunawan, “Penggunaan RS-232”, Indomicros, Surabaya, 1987.
13. John C. Skroder, “Using The M68HC11 Microcontroller – A Guide To Interfacing and Programming The M68HC11 Microcontroller”, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
14. Jonathan R.King, “New Applications of Fuzzy Logic”, Thesis, University of East Anglia, Norwich, England, December, 2000.
15. J.S.Roger Jang, Ned Gulley, “Fuzzy Logic Toolbox”, For Use with MATLAB, The Math Works, Inc, January, 1995.
16. Katsuhiko Ogata, Ir.Purnomo Wahyu Indarto, “Teknik Kontrol Otomatik”, Jilid 1, Edisi Kedua, Erlangga, 1997.
17. Leon W. Couch II, “Digital and Analog Communication System”, Macmillan Publishing Company, Fourth Edition, United State of America, 1993.
18. Li-Xin Wang, “A Course In Fuzzy System and Control”, Prentice Hall International Inc, New Jersey, 1997.
19. M68HC11 Reference Manual, “M68HC11

- Microcontrollers”, M68HC11RM/D Rev.6, 4/2002.
20. M68HC11 E Family, “Technical Data – HCMOS Microcontroller Unit”, Digital DNA from Motorola, Motorola, Inc, 2000.
 21. M68HC11 E Series, “Programming Reference Guide”, Motorola, Inc.
 22. Malvino, “Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor”, Edisi Keempat.
 23. Malvino, “Prinsip – prinsip Elektronika”, Jilid 1.
 24. Sumardi, ST, MT, “Perancangan Sistem Suspensi Semi – Aktif dengan Peredam Non Linear Menggunakan Pengontrol Fuzzy”, Tesis Magister, Bidang Khusus Instrumentasi dan Kontrol Program Studi Teknik Fisika Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, 1998.
 25. Sumardi, ST, MT, “Sistem Fuzzy”, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2000.

Penulis : Edwin Yulia Setyawan, lahir di Semarang pada tanggal 23 Juli 1978. Saat ini sedang menjalani pendidikan di Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang dengan mengambil konsentrasi Kontrol.

Mengetahui/Mengesahkan
Dosen Pembimbing II

Aris Triwiyatno, ST
NIP. 132 230 559