

SOFT BRAKING SYSTEM PADA RODA PROTOTIP KERETA API DENGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER

Oleh : Zulkifli Faisal - L2F098669 e-mail: luzizul@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstraks - Pada saat pengereman kereta api berlangsung, sering kali timbul hentakan yang terjadi secara tiba-tiba. Hentakan ini merupakan gaya yang besar yang disebabkan karena tidak adanya pengaturan pengereman roda kereta api, sedangkan momen inersia kereta api sangat besar. Pengereman yang terlalu besar pada saat kecepatan kereta api masih tinggi akan menimbulkan hentakan pada masing-masing gerbong kereta api yang secara langsung dapat mengganggu para penumpang yang berada di dalamnya. Di lain pihak tuntutan untuk peningkatan pelayanan bagi para penumpang kereta api sudah menjadi keharusan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan suatu controller yang digunakan untuk mengatur besar pengereman roda kereta api terhadap kecepatannya. Controller yang digunakan adalah kontrol logika Fuzzy.

Pada tugas akhir ini, akan di buat prototip kereta api yang mensimulasikan proses pengereman kereta api dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy. Untuk merealisasikan kontrol logika Fuzzy pada sistem pengereman roda kereta api yaitu dengan menggunakan mikrocontroller M68HC11 buatan Motorola. Penggunaan kontrol logika Fuzzy pada sistem pengereman roda kereta api dapat berlangsung dengan lembut dan mengurangi gaya hentakan yang terjadi pada saat pengereman kereta api berlangsung.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta api adalah salah satu transportasi darat yang paling banyak digunakan oleh para penumpang untuk bepergian ke suatu tempat. Banyak kelebihan kereta api sebagai transportasi darat jika dibandingkan dengan transportasi darat lainnya, salah satunya adalah kereta api dapat menampung banyak orang, waktu tempuh ke suatu tempat sangat singkat dan ekonomis. Karena kelebihan inilah tidak heran jika kereta api paling banyak digunakan oleh para penumpang untuk bepergian ke suatu tempat. Semakin banyaknya pengguna jasa kereta api ini dan naiknya harga karcis, maka dibutuhkan peningkatan pelayanan bagi para pengguna jasa kereta api.

Jika melihat lebih jauh lagi dari pelayanan yang dilakukan perusahaan jasa kereta api kepada para penggunanya maka akan terlihat adanya kekurangan dari pelayanan tersebut yaitu pada saat proses pengereman kereta api. Pada saat pengereman berlangsung benda-benda yang ada di dalam kereta api termasuk penumpang kereta api yang secara langsung akan mengalami gaya (hentakan) yang arahnya searah dengan arah kereta api bergerak. Hentakan yang terjadi ini ditambah lagi dengan adanya gerbong-gerbong kereta api yang berada dibelakang yang akan memberikan hentakan yang lebih besar ke gerbong yang ada didepannya. Hentakan ini merupakan gaya yang besar yang terjadi secara tiba-tiba yang ditimbulkan karena pemberian gaya pengereman ke roda kereta api terlalu besar pada saat kecepatan

kereta api masih tinggi, sedangkan momen inersia kereta api sangat besar. Tentu saja kejadian ini sangat mengganggu dan mengurangi kenyamanan bagi penumpang yang berada di dalam kereta api.

Untuk mengatasi kejadian tersebut, biasanya masinis memberikan gaya pengereman ke roda kereta api secara bertahap dengan cara memutar handel rem pada lokomotif. Tetapi hal ini masih saja terjadi yang dikarenakan masinis tidak bisa memberikan gaya pengereman yang sesuai dengan kecepatan kereta api saat itu. Cara yang lain yaitu dengan memberikan controller untuk mengatur pemberian gaya pengereman ke roda kereta api. Controller yang digunakan adalah kontrol logika Fuzzy. Dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy untuk pengaturan pengereman roda kereta api diharapkan proses pengereman kereta api berlangsung dengan lembut dan dapat mengurangi gaya hentakan yang terjadi.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam pembuatan tugas akhir ini adalah untuk mensimulasikan proses pengereman roda kereta api dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy pada prototip kereta api. Diharapkan penggunaan kontrol logika Fuzzy pada sistem pengereman roda kereta api dapat berlangsung dengan lembut dan mengurangi hentakan yang terjadi pada saat pengereman kereta api berlangsung.

1.3 Pembatasan Masalah

Karena kompleksnya permasalahan yang terdapat dalam sistem ini, maka perlu adanya batasan-batasan untuk menyederhanakan permasalahan ini, yaitu:

- Prototip kereta api terbuat dari plastik yang merupakan mainan yang ada di pasaran.
- Lintasan prototip kereta api (rel) terbuat dari kayu dengan bentuk lintasan lurus memanjang.
- Prototip kereta api terdiri dari sebuah lokomotif dan dua buah gerbong yaitu gerbong batubara dan gerbong penumpang.
- Catu daya untuk rangkaian *driver*, sensor, mikrocontroller M68HC11, dan tampilan dengan menggunakan trafo.
- Aktuator yang digunakan untuk mengemir prototip kereta api adalah solenoida (rangkain dalam relay).
- Besar pengereman di lokomotif dan gerbong dianggap sama.
- Massa dan kecepatan dari lokomotif, gerbong batubara dan gerbong penumpang saat berjalan dianggap sama.
- Kecepatan kereta api yang ditampilkan oleh *seven segmen* mempunyai satuan cm/s.
- Gaya gesekan selain gaya pengereman diabaikan.
- Fungsi keanggotaan untuk masukan Fuzzy terdiri dari lima fungsi keanggotaan dengan tipe fungsi keanggotaan yang digunakan adalah segitiga dan trapesium.

- Pengereman yang dilakukan pada roda prototip kereta api adalah pengereman berhenti.
- Fungsi keanggotaan untuk keluaran Fuzzy terdiri dari lima fungsi keanggotaan dengan tipe fungsi keanggotaan adalah *singleton*.
- Metode untuk pengambilan keputusan yaitu dengan menggunakan metode MAX – MIN.
- Metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi yaitu menggunakan metode COG (*Centre of Gravity*).

II DASAR TEORI

2.1 Kinematika Gerak Lurus^[11]

Berdasarkan bentuk lintasan gerakan dibagi menjadi dua macam:

1. Gerak translasi, yaitu perpindahan posisi benda dari suatu titik ke titik lain dengan arah gerak selalu berimpit dengan arah geraknya.
2. Gerak rotasi, yaitu perpindahan posisi benda dari suatu titik ke titik lain dengan arah gerak pada setiap titik tegak lurus terhadap suatu sumbu.

Kecepatan (v) adalah perubahan posisi (Δs) suatu benda dalam selang waktu tertentu (Δt), dari pengertian kecepatan di atas dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

Percepatan atau perlambatan (a) adalah perubahan kecepatan (Δv) dalam selang waktu tertentu (Δt), dari pengertian percepatan atau perlambatan dapat ditulis dengan persamaan:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$

2.2 Dinamika Gerak^[11]

Dalam kehidupan sehari-hari, tiap orang mempunyai konsep dasar tentang gaya, misalkan pada waktu menarik atau mendorong suatu benda atau melempar bola basket, dikatakan bahwa pada benda atau bola basket tersebut telah diterapkan suatu gaya dan gaya tersebut diasosiasikan dengan gerak otot atau perubahan keadaan suatu benda.

Tiga Hukum Newton yang berhubungan dengan masalah gerak yaitu:

1. Hukum I Newton

Hukum I Newton menyatakan bahwa, “Jika jumlah gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, maka benda yang sedang diam akan tetap diam dan benda yang sedang bergerak lurus dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak lurus dengan kecepatan tetap”. Secara matematis Hukum I Newton dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sum F = 0; a = 0 \quad (3)$$

2. Hukum II Newton

Hukum II Newton menyatakan bahwa, “Percepatan (a) yang ditimbulkan oleh gaya yang beraksi pada sebuah benda dengan massa (m) berbanding lurus dengan besarnya gaya (F) dan berbanding terbalik dengan massa benda”. Secara matematis Hukum II Newton dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sum F = m \cdot a \quad (4)$$

dimana: $\sum F$ = resultan gaya (N)
 a = percepatan benda (m/s^2)

m = massa benda (kg)

3. Hukum III Newton

Hukum III Newton menyatakan bahwa, “Apabila suatu benda mengerjakan gaya benda lain, maka benda kedua akan mengerjakan gaya pada benda pertama yang sama besar dan berlawanan arah”.

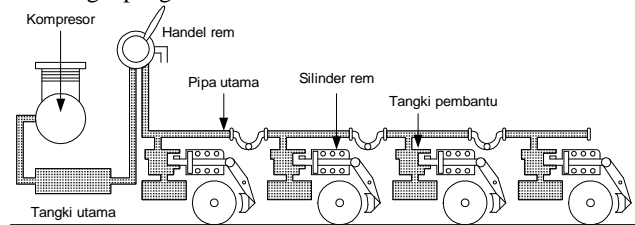
Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_{aksi} = - F_{reaksi} \quad (5)$$

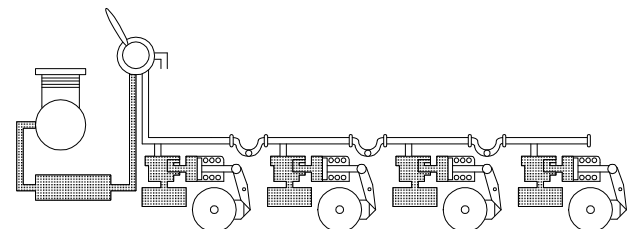
2.3 Sekilas Tentang Pengereman Kereta Api

Bagian utama dari pengereman kereta api adalah:

- ◆ **Kompresor**, adalah komponen penghasil udara tekan sebesar 10 bar dan hanya terdapat pada lokomotif. Udara tekan ini dialirkan ke tangki utama, pipa utama dan tangki pembantu.
- ◆ **Tangki utama**, berfungsi sebagai penyimpan udara tekan yang dihasilkan oleh kompresor yang bertekanan 10 bar.
- ◆ **Pipa utama**, merupakan komponen yang berfungsi sebagai penyalur udara tekan yang berasal dari tangki utama ke tangki pembantu di masing – masing kereta atau gerbong.
- ◆ **Silinder rem**, merupakan komponen yang merubah tekanan udara menjadi gaya mekanik oleh piston yang kemudian melalui tuas – tuas dan sambungan – sambungan menjadi gaya tekan blok rem.
- ◆ **Tangki pembantu**, tangki ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan tangki utama, yaitu menyimpan udara tekan, perbedaannya udara yang disimpan bertekanan 5 bar dan terdapat di masing-masing gerbong kereta
- ◆ **Katup kontrol**, merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada sistem pengereman udara tekan. Katup inilah yang mengatur lalu lintas udara tekan dari dan menuju komponen-komponen pada sistem pengereman udara tekan. Katup kontrol memiliki 3 posisi yaitu posisi proses pengisian, posisi proses pengereman dan posisi proses pelepasan.
- ◆ **Handel rem**, terdapat di kabin masinis yang berfungsi sebagai pengatur rem.



(a) Rem lepas.



(b) Rem mengikat.

Gambar 1 Prinsip kerja pengereman udara tekan kereta api.

Prinsip kerja sistem pengereman udara tekan kereta api dapat dilihat pada Gambar 1. Pada saat kedudukan handel rem posisi hande rem lepas pipa utama berhubungan dengan tangki utama dan silinder rem berhubungan dengan udara luar. Pada kedudukan ini yang menjaga agar blok rem tidak menekan pada

roda adalah pegas pembalik yang terdapat di dalam silinder rem. Ketika kedudukan handel di posisi rem mengikat pipa utama berhubungan dengan udara luar yang bertekanan 1 atm, sehingga udara tekan di dalam pipa utama keluar ke udara bebas. Kosongnya udara tekan di dalam pipa utama mengakibatkan membran di dalam katup kontrol terbuka, sehingga udara tekan yang tersimpan di dalam tangki pembantu masuk ke dalam silinder rem dan menekan torak, maka blok rem menekan roda.

2.4 Sistem Fuzzy^{[2], [5], [12]}

Fuzzy berarti samar, kabur atau tidak jelas. Fuzzy adalah istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok/himpunan yang dapat dibedakan dengan kelompok lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan kabur.

Di dalam teori himpunan klasik dinyatakan suatu objek adalah anggota (ditandai dengan “1”) atau bukan anggota (ditandai dengan “0”) dari suatu himpunan dengan batas keanggotaan yang jelas/tegas (*crisp*). Namun dalam teori himpunan Fuzzy memungkinkan derajat keanggotaan (*member of degree*) suatu objek dalam himpunan untuk menyatakan peralihan keanggotaan secara bertahap dalam interval antara “0” dan “1” atau ditulis [0 1].

Himpunan Fuzzy F dalam semesta X biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen x dan mempunyai derajat keanggotaan:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) \mid x \in X\} \tag{6}$$

Dimana: F = Notasi himpunan Fuzzy,
 X = Semesta pembicaraan,
 x = Elemen generik dari X,
 $\mu_F(x)$ = Derajat keanggotaan dari x (nilai antara 0 dan 1).

2.4.1 Notasi Himpunan Fuzzy

Fungsi keanggotaan (*membership function*) dari himpunan Fuzzy dapat disajikan dengan dua cara yaitu:

1. Numerik.

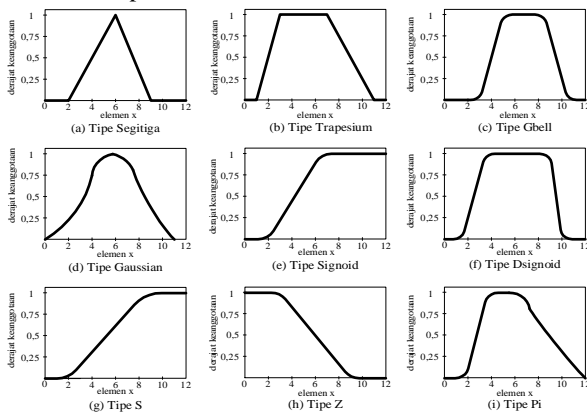
Merupakan himpunan Fuzzy yang disajikan dalam bentuk gabungan derajat keanggotaan tiap-tiap elemen pada semesta pembicaraan.

$$F = \sum \mu_F(u_i) / u_i \tag{7}$$

2. Fungsional.

Himpunan Fuzzy disajikan dalam bentuk persamaan matematis sehingga untuk mengetahui derajat keanggotaan dari masing-masing elemen dalam semesta pembicaraan memerlukan perhitungan.

Secara grafik fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy dilukiskan pada Gambar 2.



Gambar 2 Berbagai tipe fungsi keanggotaan.

2.4.2 Pengendali Logika Fuzzy

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah pengendali logika Fuzzy adalah sebagai berikut:

- Masukan dan keluaran aktual (*Crisp*) serta semesta pembicaraan yakni jangkauan yang diambil.
- Faktor skala dari peubah masukan dan keluaran.
- Fungsi keanggotaan yang digunakan untuk masukan dan keluaran.
- Aturan-aturan Fuzzy yang digunakan.

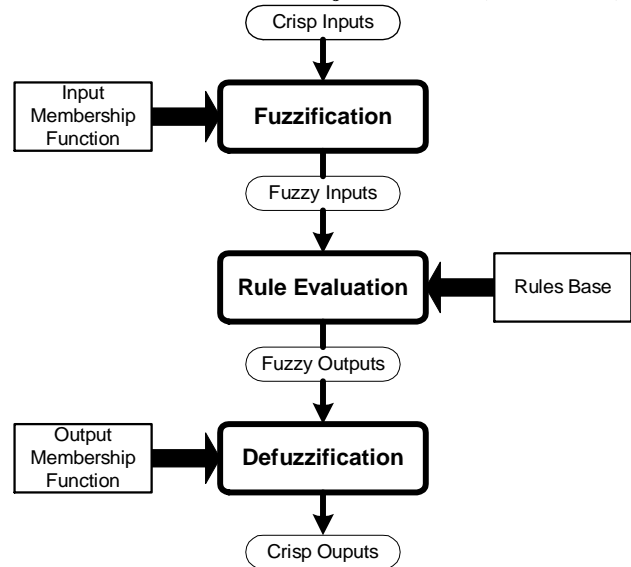
Blok diagram pengendali logika Fuzzy yang diperlihatkan pada Gambar 3 dengan masing – masing blok dijelaskan sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi (*Fuzzification*)

Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah suatu peubah masukan dari bentuk tegas (*Crisp*) menjadi peubah Fuzzy (*Variable Linguistik*) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing.

2. Evaluasi Aturan (*Rule Evaluation*)

Evaluasi aturan disebut juga proses pengambilan keputusan (*Inference*) yang berdasarkan aturan-aturan yang ditetapkan pada basis aturan (*Rules Base*) untuk menghubungkan antar peubah-peubah Fuzzy masukan dan peubah Fuzzy keluaran. Aturan-aturan ini berbentuk **jika ... maka (IF ... THEN)**.



Gambar 3 Blok diagram pengendali logika Fuzzy.

Teknik pengambilan keputusan yang sering digunakan adalah:

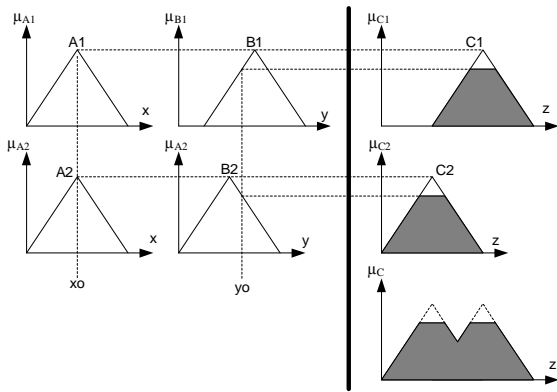
➤ **Metode MAX – MIN**

Pada metode MAX-MIN, pengambilan keputusan didasarkan pada aturan operasi menurut Mamdani. Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke i dapat dinyatakan dengan $\alpha_1 \wedge \mu_{c_i}(z)$, sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_c(z) = (\alpha_1 \wedge \mu_{c_1}(z)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{c_2}(z)) \vee \dots \vee (\alpha_i \wedge \mu_{c_i}(z))$$

atau : $\mu_c(z) = \max \{ \min (\alpha_1, \mu_{c_1}(z)), \min (\alpha_2, \mu_{c_2}(z)), \dots , \min (\alpha_i, \mu_{c_i}(z)) \}$.

Proses pengambilan keputusan MAX-MIN dapat dilukiskan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Metode MAX – MIN.

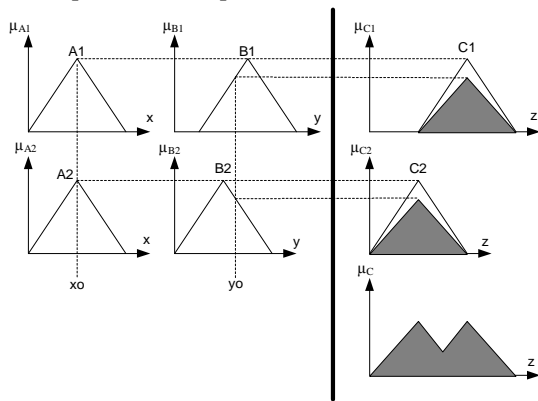
➤ **Metode MAX – DOT**

Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke i dapat dinyatakan dengan $\alpha_i \bullet \mu_{ci}(z)$ sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_c(z) = (\alpha_1 \bullet \mu_{c1}(z)) \vee (\alpha_2 \bullet \mu_{c2}(z)) \vee \dots \vee (\alpha_i \bullet \mu_{ci}(z))$$

atau : $\mu_c(z) = \{ \min(\alpha_1, \mu_{c1}(z)), \min(\alpha_2, \mu_{c2}(z)), \dots, \min(\alpha_i, \mu_{ci}(z)) \}$

Proses pengambilan keputusan dengan metode MAX – DOT dapat dilukiskan pada Gambar 5.



Gambar 5 Metode MAX – DOT.

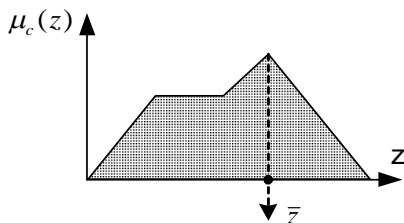
3. Defuzzifikasi (Defuzzification)

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*Crisp*). Hal ini diperlukan karena plant hanya mengenal nilai tegas sebagai besaran sebenarnya untuk regulasi prosesnya.

Terdapat 3 metode yang digunakan dalam proses ini yaitu:

i. Metode Max

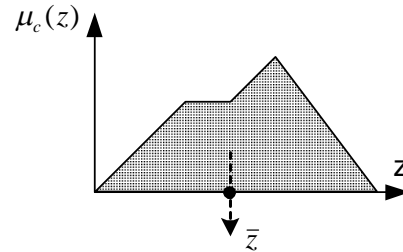
Pada metode ini, nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan tingkat keanggotaan terbesar ($\mu_c(z)$ maksimum). Gambarnya bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Metode Max.

ii. Metode Centroid

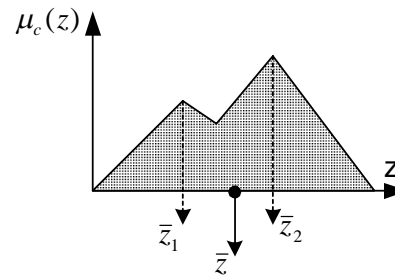
Metode *centroid* ini juga dikenal sebagai metode COA (*Center of Area*) atau metode *Center of Gravity*. Pada metode ini nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan (*inference*) yang dapat dilukiskan pada Gambar 7.



Gambar 7 Metode *centroid*.

iii. Metode MOM (Mean of Maximum)

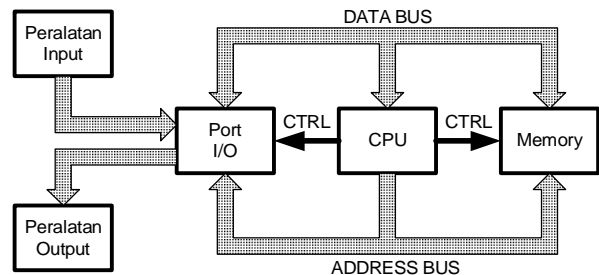
Metode MOM (*mean of Maximum*) hampir menyerupai metode *centroid*. Metode yang juga dikenal dengan nama metode *height* ini lebih sederhana dan cepat di dalam perhitungan jika dibandingkan dengan metode *Centroid*. Nilai tegas keluarannya dapat dilukiskan pada Gambar 8.



Gambar 8 Metode *Mean of Maximum*.

2.5 Sistem Mikrokontroller [1], [3], [8], [9], [13]

Mikrokontroller merupakan sebuah piranti yang dapat menjalankan perintah- perintah yang diberikan kepadanya dalam bentuk baris-baris program yang dibuat untuk pekerjaan tertentu. Program dalam hal ini adalah kumpulan perintah yang diberikan pada sistem mikrokontroller, yang kemudian diolah oleh sistem tersebut untuk melaksanakan pekerjaan tertentu.



Gambar 9 Blok diagram mikrokontroller.

Pada Gambar 9 terlihat bahwa mikrokontroller terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian memori, bagian pemroses utama (CPU), dan bagian masukan/keluaran (I/O). Bagian pemroses utama (CPU/*Central Processing Unit*) merupakan bagian utama dari suatu sistem mikrokontroller. CPU berisi rangkaian pengontrol, register-register, dan ALU (*Arithmetic Logic Unit*)

yaitu bagian yang bertugas melakukan proses aritmetika dan logika.

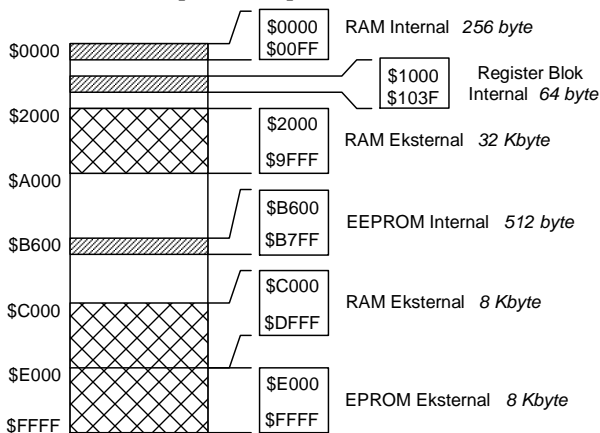
Bagian memori terdiri dari ROM (*Read Only Memory*), yaitu memori yang hanya dapat dibaca, RAM (*Random Acces Memory*), yaitu memori yang dapat dibaca dan ditulis secara acak. Memori digunakan untuk menyimpan semua program yang akan dieksekusi, data yang akan diproses, dan data hasil proses.

Bagian I/O (masukan/keluaran) dari sistem mikrokontroler adalah bagian yang menghubungkan mikrokontroler dengan luar sistem. Mikrokontroler menerima data dari luar, berupa data dari *transduser* ataupun dari *keypad* melalui bagian masukan (*port input*) dan akan mengirimkan data keluar yang telah diolah melalui bagian keluaran (*port output*).

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini menggunakan mikrokontroler buatan Motorola dengan seri M68HC11A1. Mikrokontroler ini mempunyai suatu keping tunggal yang memuat suatu sistem mikrokontroler terintegrasi dengan konfigurasi sebagai berikut:

1. RAM dengan kapasitas 256 *byte*.
2. EEPROM dengan kapasitas 512 *byte*.
3. *Port A*, merupakan kombinasi masukan dan keluaran sebanyak 8-bit, yaitu *port A0 – A2* untuk input, *A3 – A6* sebagai output dan *A7* dapat digunakan sebagai input atau output.
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 M68HC11.

Mikrokontroler M68HC11A1 mempunyai memori sendiri baik RAM maupun EEPROM pada keping *chip*-nya. Tapi untuk suatu sistem yang lebih besar dibutuhkan memori *eksternal* atau memori luar agar dapat menyimpan baris-baris instruksi maupun data dan alamat. Mikrokontroler M68HC11A1 dapat mengakses 64 *Kbyte* memori, yang terdiri dari memori internal dan memori eksternal. Untuk memori eksternal dapat berupa RAM maupun ROM. Dalam hal ini mikrokontroler di ekspansi menjadi suatu sistem minimum yang lebih lengkap lengkap dengan berbagai fungsinya. Mode ekspansi ini dilakukan dengan mengekspansikan bus pada *port B* dan *C* serta pena *AS* dan *R/W*. Pada mode ekspansi ini pemetaan memori dari sistem mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 10.



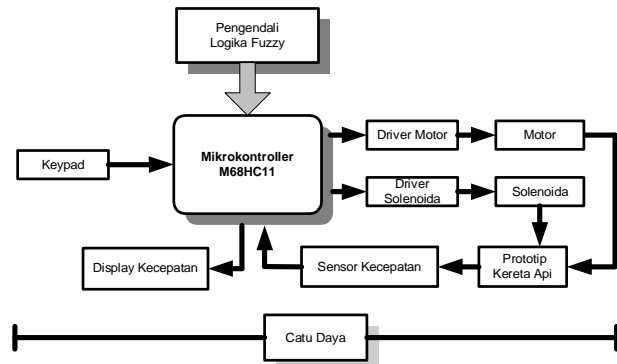
Gambar 10 Pemetaan alamat memori mikrokontroler M68HC11A1.

Dari pemetaan memori pada Gambar 10, maka pada alamat \$E000 - \$FFFF (EEPROM) sebanyak 8 *Kbyte* digunakan untuk *power on program* yaitu untuk menyimpan baris-baris program dan alamat \$2000 - \$DFFF (RAM eksternal) sebanyak 32 *Kbyte* digunakan untuk menyimpan data atau alamat program sementara.

III PERANCANGAN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Gambaran secara umum perancangan alat *soft braking system* pada roda kereta api dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* ini, dapat dilihat dalam blok diagram pada Gambar 11.



Gambar 11 Blok diagram sistem secara keseluruhan.

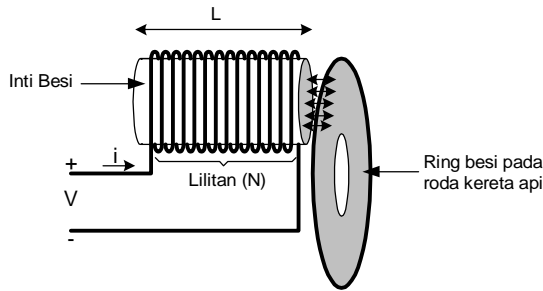
Dari Gambar 11 terlihat bahwa *soft braking system* pada kereta api dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* terdiri dari beberapa blok fungsional yaitu:

1. Kereta api, digunakan sebagai alat yang akan dikontrol proses pengeremannya
2. Sensor kecepatan, sensor ini digunakan untuk mengukur kecepatan kereta api.
3. Driver, berfungsi sebagai penggerak motor dan rem.
4. Motor, untuk menggerakkan kereta api.
5. Solenoida, berfungsi sebagai aktuator rem kereta api.
6. *Keypad*, digunakan sebagai alat untuk memberi masukan/interupsi pada μC M68HC11.
7. Tampilan (*Display*), untuk tampilan digunakan 3 buah *seven segmen*, *seven segmen* digunakan untuk menampilkan kecepatan kereta api.
8. Power Suplai, digunakan untuk mencatu sistem minimum M68HC11 dan perangkat elektronika lainnya.
9. Sistem minimum M68HC11, dalam sistem minimum ini terdiri dari penyandi alamat, penahan (*latch*), RAM, EPROM, PPI 8255. Sistem minimum ini digunakan untuk pengolahan data input, output dan proses pengendali logika Fuzzy.
10. Pengendali logika Fuzzy, dalam blok ini terdiri dari proses fuzzifikasi, pengambilan keputusan yang berdasarkan basis aturan dan proses defuzzifikasi. Pengendali logika Fuzzy ini berfungsi untuk mengendalikan proses pengereman kereta api.

3.1.1 Solenoida

Konstruksi solenoida yang digunakan untuk rem prototip kereta api diperlihatkan pada Gambar 12. Solenoida ini dipasang pada tiap – tiap prototip roda kereta api.

Rem ini bekerja berdasarkan gaya tarik-menarik magnet yang terjadi antara solenoida dengan ring besi. Oleh sebab itu roda prototip kereta api dilapisi dengan ring besi.



Gambar 12 Solenoida yang digunakan sebagai aktuator rem.

Cara kerja proses pengereman roda prototip kereta api yaitu pada saat roda kereta api berputar dan solenoida diberi tegangan, maka pada inti besi dari solenoida tersebut akan timbul induksi magnetik yang besarnya memenuhi persamaan di bawah ini:

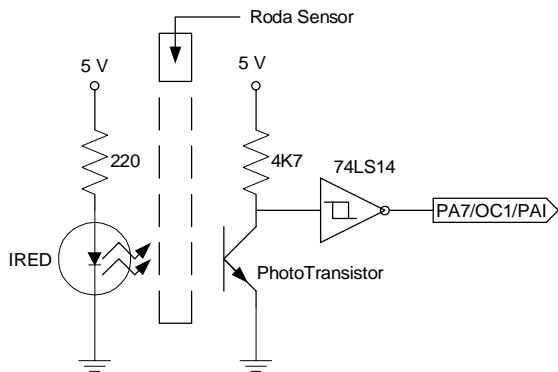
$$B = \frac{\mu N i}{L}, \mu = \mu_r \cdot \mu_o \quad (8)$$

- dimana: B = Besar induksi magnetik (Wb.m⁻² = Tesla),
- N = Banyak lilitan solenoida,
- i = Kuat arus (A),
- L = Panjang solenoida (m),
- μ_o = Permeabilitas udara/vakum (4π.10⁻⁷Wb. A⁻¹.m⁻¹)
- μ_r = Permeabilitas inti

Dari persamaan (8), besarnya nilai induksi magnetik salah satunya tergantung dari tegangan yang diberikan pada solenoida. Dengan adanya induksi magnetik pada inti besi solenoida maka akan terjadi gaya tarik-menarik magnet antara inti besi dengan ring besi pada roda. Besar gaya tarik-menarik magnet ini berbanding lurus dengan induksi magnetik yang dihasilkan.

3.1.2 Perancangan Sensor Kecepatan Kereta Api

Rangkaian untuk menghitung kecepatan putar roda kereta diperlihatkan pada Gambar 13.

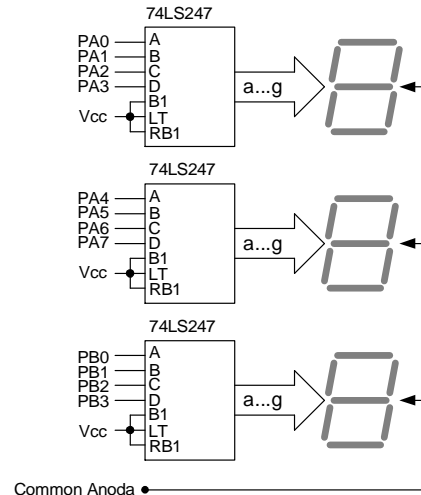


Gambar 13 Rangkaian sensor kecepatan.

Untuk menghitung kecepatan dari roda kereta api maka digunakan rangkaian phototransistor. Prinsip dari phototransistor ini adalah sama dengan transistor lainnya. Prinsip kerja dari sensor diatas adalah jika antara transistor dan IRED (*Infra Red*) dihalangi maka transistor akan *off* sehingga keluaran dari kolektor akan berlogic *high*. Sebaliknya jika antara transistor dan IRED tidak dihalangi maka transistor akan *on* sehingga keluaran dari kolektor berlogic *low*.

3.1.3 Perancangan Tampilan Kecepatan Kereta Api

Rancangan untuk tampilan kecepatan kereta api diperlihatkan pada Gambar 14.

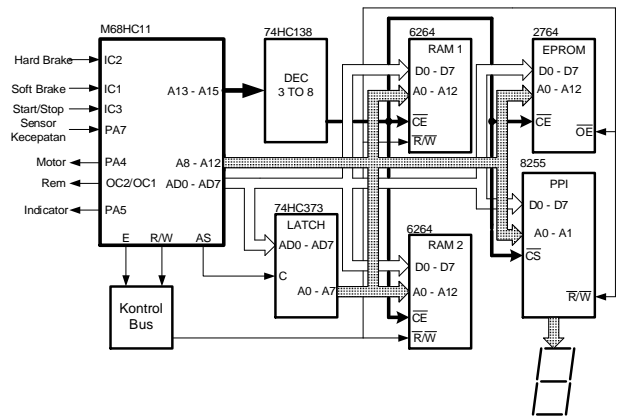


Gambar 14 Rangkaian display kecepatan.

Gambar 14 adalah rancangan untuk menampilkan kecepatan kereta api yang terdiri dari 3 buah IC 74LS247 dan 3 buah *seven segmen*. IC 74LS247 adalah IC *BCD (Binary Code Decimal) to seven segmen driver*. IC ini digunakan untuk merubah bilangan BCD yang berasal dari paralel I/O PPI (*Port A dan Port B*) menjadi sebuah bilangan desimal yang ditampilkan oleh *seven segmen*.

3.1.4 Sistem Minimum Mikrokontroler M68HC11

Gambar 15 adalah rancangan lengkap dari sistem minimum μC M68HC11. Sistem minimum μC M68HC11 terdiri dari beberapa komponen pendukung yaitu penyandi alamat (*address decoder*), penahan alamat (*address latch*), RAM, EPROM, dan PPI 8255.

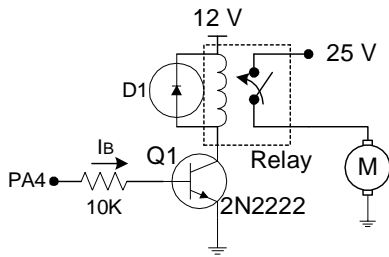


Gambar 15 Sistem minimum μC M68HC11.

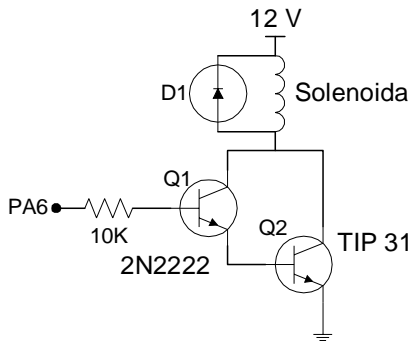
3.1.5 Driver

Rangkaian *driver* untuk menggerakkan motor diperlihatkan pada Gambar 16. Pengontrolan rangkaian *driver* motor dilakukan oleh *Port A* pin PA4 μC M68HC11.

Sedangkan rangkaian *driver* untuk solenoida diperlihatkan pada Gambar 17. Pengontrolan rangkaian *driver* solenoida dilakukan oleh *Port A* pin PA6 μC M68HC11.



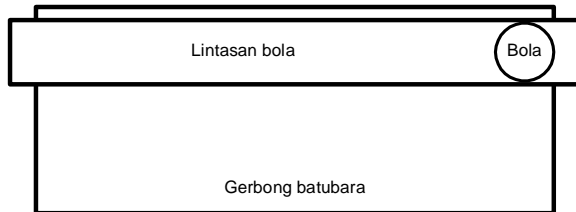
Gambar 16 Rangkaian driver motor.



Gambar 17 Rangkaian driver solenoida.

3.1.6 Perancangan Simulasi Dengan Bola

Perancangan simulasi dengan bola ini bertujuan untuk mengetahui efek yang terjadi pada bola jika prototip kereta api direm mendadak dan direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy. Rancangan simulasi ini diperlihatkan pada Gambar 18.



Gambar 18 Rancangan simulasi dengan bola.

Gambar 18 memperlihatkan lintasan bola ditempatkan di atas gerbong batubara. Bola yang terbuat dari besi ditempatkan di atas lintasan bola. Pergerakan dari bola ini hanya bisa maju dan mundur karena ada pembatas pada bagian pinggir dari lintasan bola. Kemungkinan efek yang terjadi pada bola saat kereta api direm mendadak atau direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy adalah bola akan bergerak atau diam, jika bergerak seberapa jauh jarak dari pergerakan itu.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

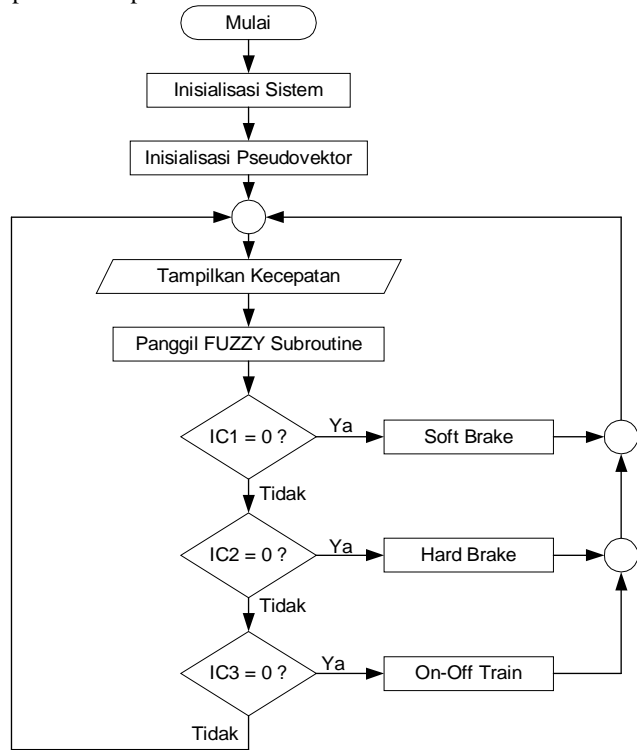
Port – port pada sistem minimum μC M68HC11 yang digunakan dalam perancangan sistem yaitu Port A digunakan sebagai masukan/keluaran dan port paralel PPI 8255 yang dihubungkan dengan tampilan seven segmen.

Masing – masing fungsi dari bit – bit port A dan port paralel PPI 8255 dijelaskan sebagai berikut:

1. PA0/IC3, digunakan sebagai interupsi start/stop kereta api,
2. PA1/IC2, digunakan sebagai interupsi hard brake,
3. PA2/IC1, digunakan sebagai interupsi soft brake,
4. PA4/OC4/OC1, digunakan sebagai keluaran untuk kontrol motor,

5. PA5/OC3/OC1, digunakan sebagai keluaran indicator motor hidup/mati,
6. PA6/OC2/OC1, digunakan sebagai keluaran untuk pengaturan rem kereta api, baik pengereman mendadak (hard brake) maupun pengereman dengan algoritma Fuzzy (soft brake),
7. PA7/OC1/PAI, digunakan sebagai masukan dari sensor kecepatan (autocoupler),
8. Port paralel PPI 8255 yaitu PA0 - PA7 dan PB0 - PB3 dihubungkan ke tampilan seven segmen.

Diagram alir program utama soft braking system pada roda prototip kereta api dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller diperlihatkan pada Gambar 19.

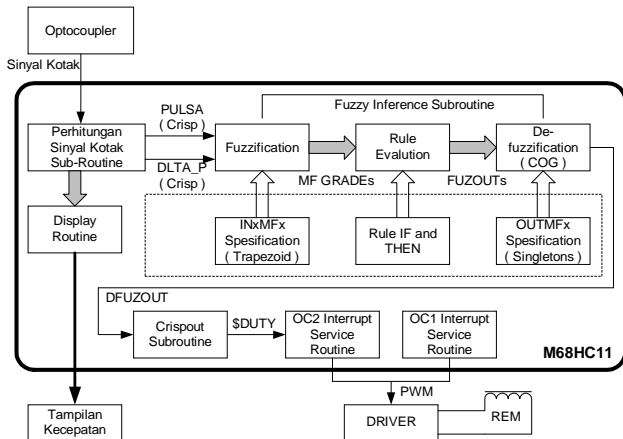


Gambar 19 Diagram alir program utama.

Dari diagram alir pada Gambar 19 terlihat bahwa setelah program dijalankan, proses yang pertama kali dijalankan yaitu menginisialisasi sistem yang berupa deklarasi konstanta dan alamat, deklarasi alokasi memori untuk data variabel, inisialisasi PPI dan konfigurasi port. Setelah inisialisasi sistem selesai kemudian inisialisasi pseudovektor untuk interupsi periodik dan interupsi eksternal. Program selanjutnya yaitu menampilkan kecepatan kereta api dan melakukan proses algoritma Fuzzy. Proses ini akan selalu berputar pada program menampilkan kereta api dan melakukan proses algoritma Fuzzy sampai adanya interupsi eksternal. Interupsi pada IC1 (Input Capture 1) kereta api akan mengerem dengan lembut (soft), interupsi pada IC2 (Input Capture 2) kereta api akan mengerem dengan kasar (hard) dan interupsi pada IC3 (Input Capture 3) kereta api akan berjalan atau berhenti.

3.2.1 Pemrograman Pengendali Logika Fuzzy

Gambar 20 adalah blok-blok dari pemrograman pengendali logika Fuzzy yang dilakukan μC M68HC11 dari masukan berupa sinyal kotak hingga kontrol keluaran berupa sinyal PWM (Pulse Width Modulation).

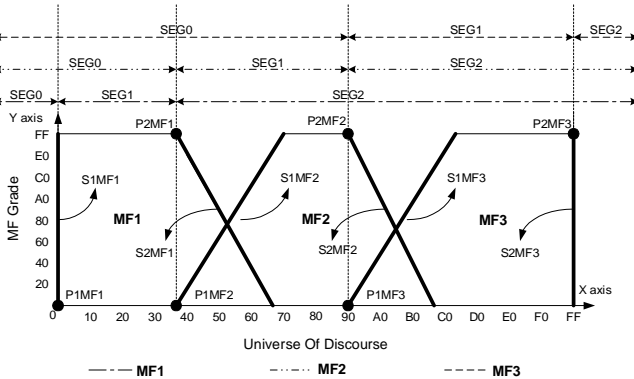


Gambar 20 Blok pemrograman pengendali logika Fuzzy

3.2.1.1 Fuzzifikasi (Fuzzification)

Proses fuzzifikasi adalah proses perubahan masukan variabel Fuzzy (Crisp) menjadi peubah Fuzzy (Variable Linguistik) yang biasanya di sajikan dalam bentuk himpunan – himpunan Fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. Oleh sebab itu langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendesain himpunan-himpunan Fuzzy yang disajikan dalam bentuk fungsi keanggotaan (Membership Functions).

Biasanya desain fungsi keanggotaan yang disajikan dalam bahasa pemrograman assembly µC M68HC11 yaitu dalam bentuk Point dan Slope yang diperlihatkan seperti pada Gambar 21.



Gambar 21 Desain fungsi keanggotaan di M68HC11.

Pada Gambar 21 memperlihatkan bahwa untuk masing-masing fungsi keanggotaan diwakili dengan Point1, Slope1, Point2, Slope2. Nilai Point1 dan Point2 sudah dapat ditentukan dari titik saat mendesain fungsi keanggotaan. Sedangkan untuk menentukan Slope1 dan Slope2 memenuhi persamaan berikut ini:

$$Slope = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \tag{9}$$

Masih mengacu pada Gambar 21, memperlihatkan bahwa masing-masing fungsi keanggotaan terdiri dari 3 buah segmen, yaitu SEG0, SEG1 dan SEG2.

Setelah menentukan nilai parameter yang dijelaskan, maka nilai ini dalam pemrograman M68HC11 dimasukkan sebagai data konstanta

Inti dari proses fuzzifikasi adalah menentukan berapa nilai derajat keanggotaan (Y axis) terhadap data masukan (INPUT) Universe Of Discourde (X axis). Hal ini bisa ditentukan dengan persamaan matematika di bawah ini:

$$MF\ GRADE (SEG1) = (INPUTx - P1MFx) \times S1MFx \tag{10}$$

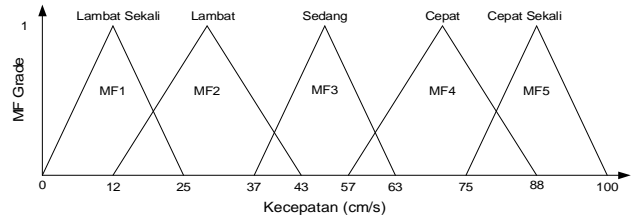
Persamaan di atas berlaku jika INPUTx berada di segmen 1 (SEG1) dari masing-masing fungsi keanggotaan. Sedangkan jika INPUT berada di SEG2, untuk menentukan derajat keanggotaan memenuhi persamaan:

$$MF\ GRADE (SEG2) = \$FF - [(INPUTx - P2MFx) \times S2MFx]$$

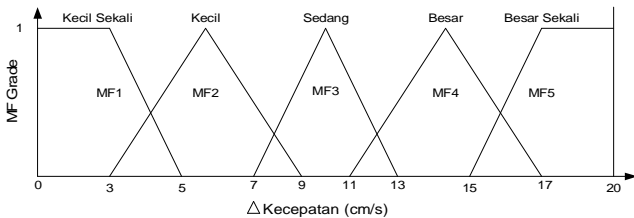
Untuk INPUT berada di segmen 0 (SEG0), maka nilai derajat keanggotaan (MF GRADE) adalah \$00.

Gambar 22 dan Gambar 23 memperlihatkan fungsi keanggotaan untuk masukkan variable Fuzzy kecepatan dan masukan variable Fuzzy Akecepatan.

Karena seluruh pemrograman pengendali logika Fuzzy di buat dengan bahasa assembly M68HC11, maka desain fungsi keanggotaan yang diperlihatkan pada Gambar 22 dan Gambar 23 harus diubah terlebih dahulu kedalam parameter-parameter yang di mengerti M68HC11 yaitu diubah menjadi data konstanta M68HC11



Gambar 22 Fungsi keanggotaan untuk masukan kecepatan.



Gambar 23 Fungsi keanggotaan untuk masukan Δkecepatan.

Dari penskalaan yang sesuai dari Gambar 22 dan Gambar 23 didapatkan data konstanta M68HC11 untuk fungsi keanggotaan masukan Fuzzy

fungsi keanggotaan masukan variable Fuzzy kecepatan

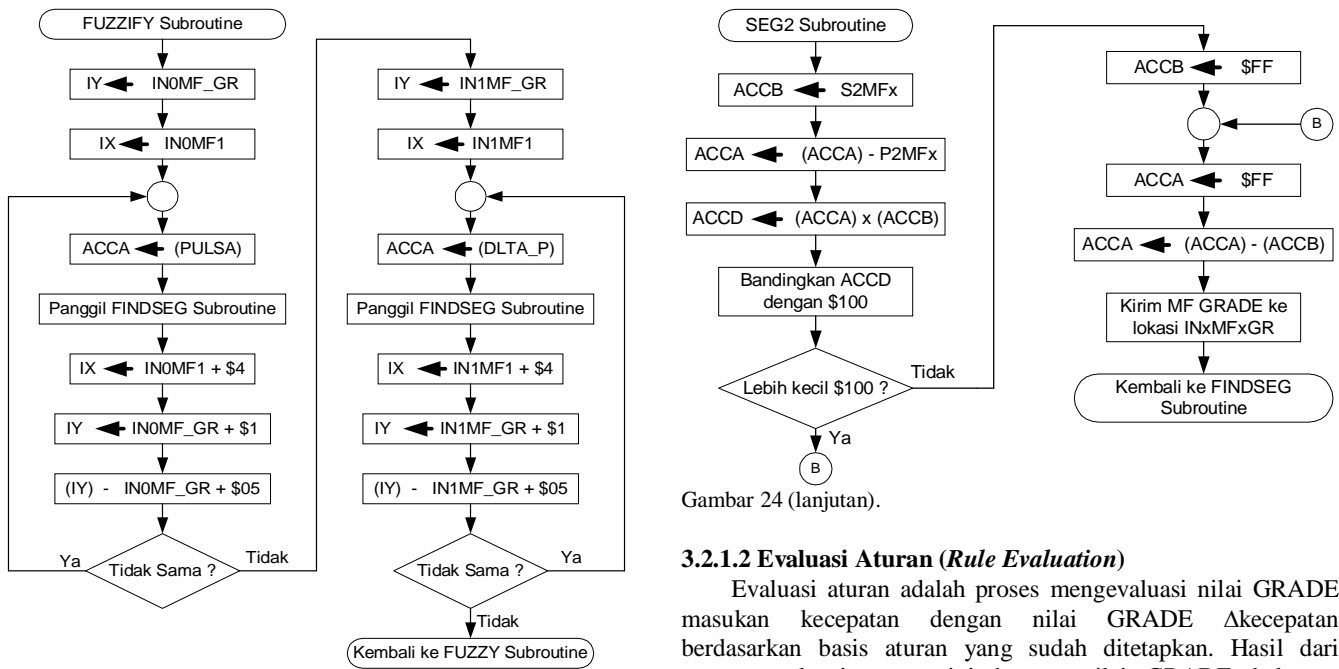
INOMF	FCB	\$00, \$07, \$26, \$07	; Lambat Sekali (LS)
	FCB	\$26, \$07, \$4D, \$07	; Lambat (L)
	FCB	\$66, \$0A, \$80, \$0A	; Sedang (S)
	FCB	\$8C, \$07, \$B3, \$07	; Cepat (C)
	FCB	\$B3, \$07, \$D9, \$07	; Cepat Sekali (CS)

fungsi keanggotaan masukan variable Fuzzy Akecepatan

IN1MF	FCB	\$00, \$FF, \$1A, \$07	; Kecil Sekali (KS)
	FCB	\$26, \$07, \$4D, \$07	; Kecil (K)
	FCB	\$66, \$0A, \$80, \$0A	; Sedang (S)
	FCB	\$8C, \$07, \$B3, \$07	; Besar (B)
	FCB	\$BF, \$07, \$FF, \$FF	; Besar Sekali (BS)

Diagram alir untuk pemrograman fuzzifikasi diperlihatkan pada Gambar 24.

Hasil dari proses fuzzifikasi adalah nilai GRADE-nya dari masing-masing masukan variabel Fuzzy. Nilai GRADE ini akan menempati lokasi memory dengan label INOMF_GR untuk masukan kecepatan dan IN1MF_GR untuk masukan Akecepatan.



Gambar 24 (lanjutan).

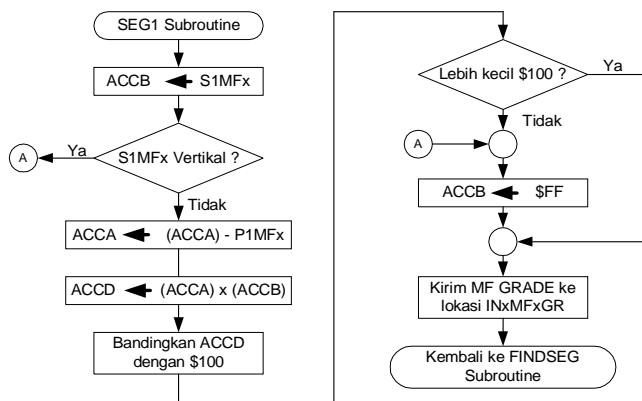
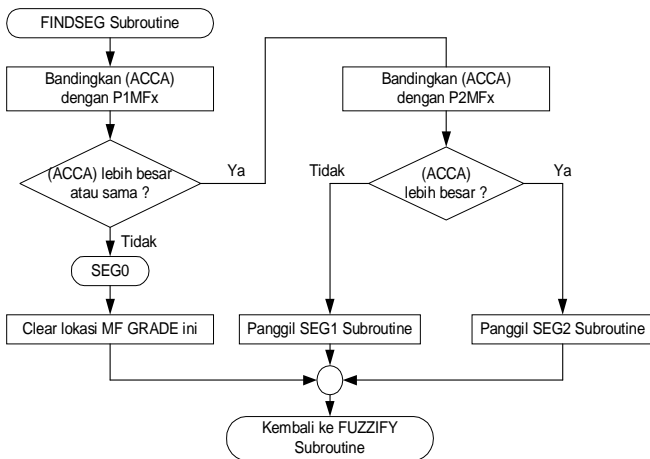
3.2.1.2 Evaluasi Aturan (Rule Evaluation)

Evaluasi aturan adalah proses mengevaluasi nilai GRADE masukan kecepatan dengan nilai GRADE Δkecepatan berdasarkan basis aturan yang sudah ditetapkan. Hasil dari proses evaluasi aturan ini berupa nilai GRADE keluaran berdasarkan aturan yang berbentuk **jika...dan...maka...**

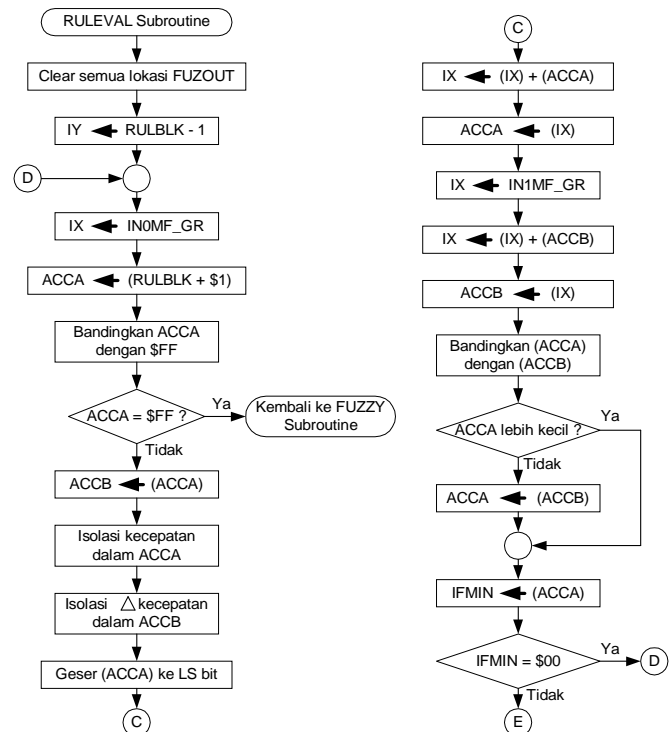
Basis aturan dapat ditabelkan yang diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1 Basis aturan yang ditabelkan

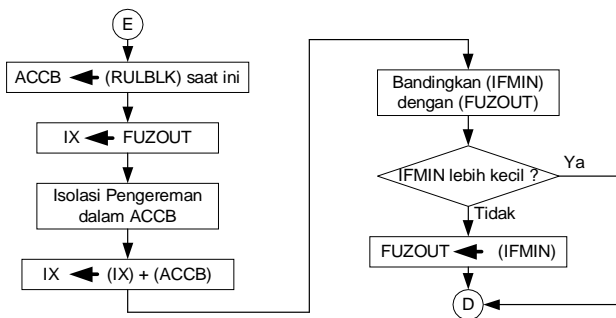
		KECEPATAN				
		LS	L	S	C	CS
ΔKECEPATAN	KS	BS	B	S	K	KS
	K	BS	B	S	K	KS
	S	BS	B	S	K	KS
	B	B	S	K	KS	KS
	BS	B	S	K	KS	KS



Gambar 24 Diagram alir pemrograman fuzzifikasi.



Gambar 25 Diagram alir evaluasi aturan.



Gambar 25 (lanjutan)

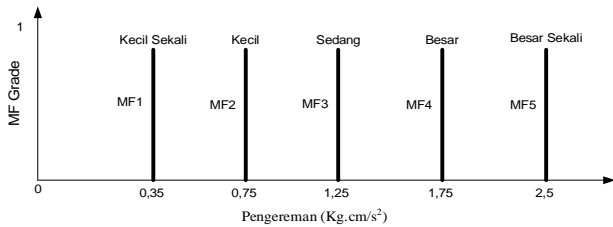
Pengambilan keputusan (*Inference*) untuk mendapatkan suatu penyelesaian ini menggunakan metode MAX – MIN untuk mengevaluasi 10 masukan derajat kenggotaan (MF GRADE) dari 25 aturan-aturan yang ada.

Hasil akhir dari proses RULE EVALUATION akan menempati lokasi memory dengan label FUZOUT.

3.2.1.3 Defuzzifikasi (*defuzzification*)

Proses defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy keluaran (FUZOUT) dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*Crisp*).

Fungsi keanggotaan untuk keluaran Fuzzy diperlihatkan pada Gambar 26.



Gambar 26 Fungsi keanggotaan keluaran Fuzzy

Fungsi keanggotaan keluaran Fuzzy menggunakan tipe *singleton* seperti terlihat pada Gambar 26. Dengan demikian untuk satu fungsi keanggotaan dapat diwakili dengan satu buah bilangan sebesar 1 *byte* sebagai data konstanta M68HC11.

Dengan penskalaan yang sesuai didapatkan data konstanta M68HC11 yang mewakili fungsi keanggotaan keluaran Fuzzy:

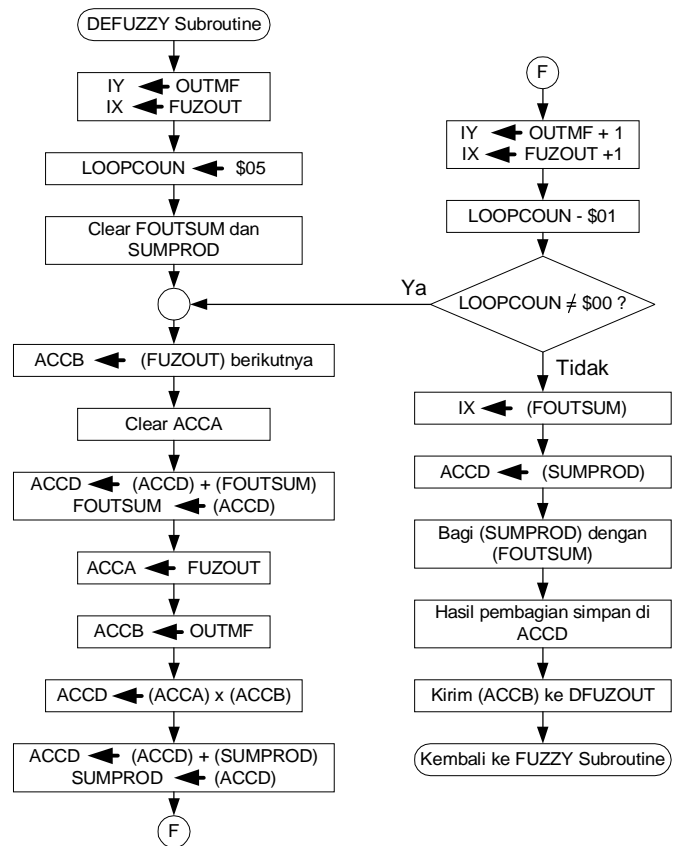
Fungsi keanggotaan keluaran Fuzzy

OUTMF	FCB	\$1A	; Kecil Sekali
	FCB	\$4D	; Kecil
	FCB	\$80	; Sedang
	FCB	\$B3	; Besar
	FCB	\$E6	; Besar Sekali

Untuk mendapatkan nilai tegas (*Crisp*) keluaran dari himpunan-himpunan Fuzzy keluaran yaitu dengan menggunakan metode *Centre of Gravity* (COG) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Crisp Output = \frac{\sum_i (Fuzzy Output_i) \times (Singleton position di x axis_i)}{\sum_i (Fuzzy Output_i)}$$

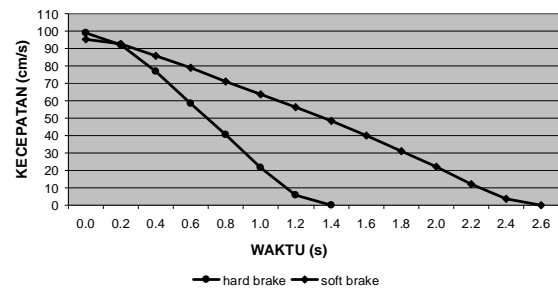
Untuk merealisasikan proses defuzzifikasi di pemrograman M68HC11, Gambar 27 adalah diagram alir proses defuzzifikasi.



Gambar 27 Diagram alir defuzzifikasi.

IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Nilai rata-rata kecepatan yang didapat dari masing-masing pengereman dapat dibuat grafik yang diperlihatkan pada Gambar 28.



Gambar 28 Grafik kecepatan kereta api saat direm

Dari grafik pada Gambar 28 terlihat bahwa grafik kecepatan kereta api "*hard brake*" lebih terjal dibandingkan dengan grafik kecepatan kereta api "*soft brake*". Hal ini terjadi dikarenakan pada grafik kecepatan "*hard brake*" gaya pengereman ke roda kereta api diberikan secara maksimal dan tidak adanya pengontrolan pemberian gaya pengereman roda kereta api. Karena pemberian gaya pengereman ke roda kereta api secara maksimal, maka waktu tempuh kereta api saat kereta api direm hingga berhenti terjadi dengan singkat.

Berbeda dengan grafik kecepatan "*hard brake*", pada grafik kecepatan "*soft brake*" adalah pengereman kereta api dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy yang menunjukkan grafik

kecepatan lebih landai. Hal ini dikarenakan pemberian gaya pengereman kereta api berdasarkan hasil keluaran proses pengendali logika Fuzzy dengan masukan pengendali logika Fuzzy adalah kecepatan kereta api pada saat itu. Berarti pemberian gaya pengereman ke roda kereta api dilakukan secara bertahap terhadap kecepatan kereta api pada saat itu. Akibat dari pemberian gaya pengereman ke roda kereta api secara bertahap adalah waktu tempuh kereta api untuk berhenti lebih lama jika dibandingkan dengan pemberian gaya pengereman ke roda kereta api secara maksimal. Tabel 2 adalah data percobaan jarak tempuh kereta api untuk berhenti saat kereta api direm.

Tabel 2 Data jarak (s) yang ditempuh kereta api untuk berhenti.

Data Perc Ke -	Hard Brake (cm)	Soft Brake (cm)	No Brake (cm)
1	99	162	267
2	96	163	262
3	86	174	227
4	77	167	207
5	85	156	240
6	86	172	260
7	93	152	265
8	90	166	234
9	103	167	244
10	92	159	254
Rata-rata	90.70	163.80	246.00

Tabel 2 memperlihatkan bahwa jarak yang ditempuh kereta api untuk berhenti lebih pendek pada saat kereta direm mendadak jika dibandingkan dengan kereta api direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy.

Dari data kecepatan kereta api yang telah didapat, maka secara perhitungan dapat dicari gaya yang ditimbulkan kereta api saat kereta api direm yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$

dimana: F = Gaya (Kg. cm/s²)

m = massa (Kg)

a = percepatan/perlambatan (cm/s²)

v_t = kecepatan saat t (cm/s)

v₀ = kecepatan saat t₀ (cm/s)

t = waktu (s)

Dari hasil pengukuran massa prototip kereta api didapatkan massa prototip kereta api sebesar 0,6 Kg.

Sebagai contoh perhitungan gaya yang dialami prototip kereta api saat direm mendadak dengan data-data sebagai berikut:

$$m = 0,6 \text{ Kg}$$

$$v_t = 91,90 \text{ cm/s}$$

$$v_0 = 99,20 \text{ cm/s}$$

$$t = 0,2 \text{ s}$$

$$t_0 = 0$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$

$$a = \frac{91,90 - 99,20}{0,2 - 0} = -36,50 \text{ cm/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 0,6 \cdot 36,50 = 21,90 \text{ Kg. cm/s}^2$$

Nilai a negatif menunjukkan bahwa telah terjadi perlambatan pada kereta api yang sedang berjalan..

Dengan cara perhitungan yang sama, Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan perhitungan gaya yang ditimbulkan prototip kereta api saat kereta api direm mendadak dan direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy.

Tabel 3 Gaya (F) yang ditimbulkan prototip kereta api saat direm mendadak.

Waktu (s)	v (cm/s)	a (cm/s ²)	F (Kg. cm/s ²)
0.0	99.20	-	-
0.2	91.90	-36.50	21.90
0.4	76.80	-75.50	45.30
0.6	58.50	-91.50	54.90
0.8	40.60	-89.50	53.70
1.0	21.80	-94.00	56.40
1.2	5.90	-79.50	47.70
1.4	0.00	-29.50	17.70
Gaya rata-rata			42.51

Tabel 4 Gaya (F) yang ditimbulkan prototip kereta api saat direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy.

Waktu (s)	v (cm/s)	a (cm/s ²)	F (Kg. cm/s ²)
0.0	95.50	-	-
0.2	92.70	-14.00	8.40
0.4	85.90	-34.00	20.40
0.6	78.70	-36.00	21.60
0.8	71.30	-37.00	22.20
1.0	63.80	-37.50	22.50
1.2	56.10	-38.50	23.10
1.4	48.30	-39.00	23.40
1.6	40.10	-41.00	24.60
1.8	31.20	-44.50	26.70
2.0	22.00	-46.00	27.60
2.2	12.10	-49.50	29.70
2.4	3.90	-41.00	24.60
2.6	0.00	-19.50	11.70
Gaya rata-rata			22.04

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan gaya yang timbul pada prototip kereta api saat kereta api direm mendadak dan direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy. Dari tabel tersebut memperlihatkan gaya yang timbul pada kereta api saat kereta api direm mendadak lebih besar dari gaya yang timbul pada kereta api saat direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy. Gaya yang terjadi pada kereta api akan mempengaruhi benda-benda yang berada didalam kereta api tersebut, dengan kata lain benda tersebut mengalami gaya yang sama dengan gaya yang dialami pada kereta api. Hal ini bisa dilihat pada pergerakan bola pada lintasan bola, saat kereta api direm mendadak maka timbul gaya yang besar yang akan menggerakkan bola. Jarak yang ditempuh bola pada lintasan bola bisa mencapai bagian ujung yang lain dari lintasan bola. Bola bergerak dikarenakan gaya gesekan statik bola dengan lintasan bola jauh lebih kecil dengan gaya yang terjadi pada bola tersebut.

Sedangkan pada saat kereta api direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy, gaya yang ditimbulkan kereta api tidak

sebesar gaya yang ditimbulkan kereta api saat direm mendadak. Gaya yang ditimbulkan kereta api saat direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy ini juga mempengaruhi bola pada lintasan bola. Tetapi karena gaya yang ditimbulkan tidak terlalu besar, maka pengaruh terhadap bola tidak terlalu besar juga. Hal ini bisa dilihat pada pergerakan bola pada lintasan bola dimana bola bergerak pada kisaran yang sempit.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pembuatan, pengujian dan penganalisaan *soft braking system* pada roda prototip kereta api dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler M68HC11 bisa digunakan untuk proses pengolahan pengendali logika Fuzzy.
2. Adanya gaya gesekan antara kabel catu daya dan kabel keypad dengan lantai mempengaruhi pergerakan kereta api sehingga berpengaruh juga terhadap hasil pengukuran kecepatan.
3. Pengereman roda prototip kereta api dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy lebih lembut (*soft*) jika dibandingkan tanpa kontroler (rem mendadak). Hal ini bisa dilihat pada pergerakan bola dan gaya yang ditimbulkan prototip kereta api.
4. Jarak dan waktu tempuh prototip kereta api untuk berhenti menjadi lebih panjang dan lama saat kereta api direm dengan menggunakan kontrol logika Fuzzy tetapi bagi penumpang yang berada didalamnya akan terasa lebih nyaman.

5.2 Saran

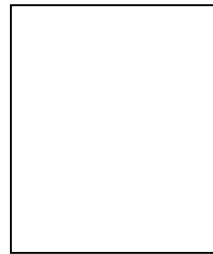
Agar sistem ini yang didapat lebih baik lagi, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Agar dapat lebih dirasakan lagi efek dari hentakan dan lembutnya proses pengereman roda prototip kereta api bisa dengan menggunakan prototip kereta api pada skala yang lebih besar.
2. Skala dan tipe dari fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran Fuzzy serta basis aturan dapat diubah-ubah supaya didapatkan sistem yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____, HC11, "Reference Manual", Motorola Inc, 1991.
- [2] Jamsidi Mohammad, Nader Vadiac and Timothy J Ross, "Fuzzy Logic and Control : Software and Hardware Applications", Prentice Hall, Inc. New Jersey. 1993.
- [3] John C. Skroder, "Using the M68HC11 Microcontroller", International Edition, Prentice-Hall International, Inc, U.S of America, 1997.
- [4] Kraige, L.G, and Meriam, J.L., "Mekanika Teknik, Dinamika", Jilid 1 – 2, Penerbit Erlangga, Jakarta. 1993.
- [5] Li-Xing Wang, "A Course in Fuzzy System and Control", Prentice Hall, Inc. New Jersey. 1997.
- [6] Malvino, Albert Poul, "Prinsip-prinsip Elektronik", Erlangga, Jakarta, 1992.
- [7] Ogata, Katsuhiko., "Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1 – 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [8] Roger L. Tokheim, MS, "Prinsip-prinsip Digital", Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta, 1994.

- [9] Saiful Bahri, "Sistem Informasi Pemakaian Energi Listrik pada Kamar Kost Berbasis Mikrokontroler M68HC11", Tugas Akhir, Teknik Elektro Undip, 2002.
- [10] Schuler Charles A., Mc Namee Milliam L., "Industrial Electronics and Robotics", Mc Graw Hill, New York, 1986.
- [11] Sears, Zemansky, "Fisika Untuk Universitas I", Jakarta, 1962.
- [12] Suratno, "Pengaruh Perbedaan Tipe Fungsi Keanggotaan Pada Pengendali Logika Fuzzy Terhadap Tanggapan Waktu Sistem Orde Dua Secara Umum", Tugas Akhir, Teknik Elektro Undip, 2002.
- [13] Tocchi, Ronald J, "Digital System and Applications", Prantice Hall, Inc USA, 1991.
- [14] William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, Pantur Silabun, "Rangkaian Listrik", Jilid 1, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1996.
- [15] William H. Hayt, Jr, "Elektromagnetika Teknologi", Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.



Zulkifli Faisal – L2F098669, tercatat sebagai mahasiswa Jurusan Elektro Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 1998. Mengambil konsentrasi di bidang kontrol dan sangat menyukai hal-hal mengenai mikrokontroler. Pernah aktif di *Electronic Workshop* (EWS), asisten praktikum dan sekarang masih aktif di LAB TKO (Teknik Kontrol Otomatik)

Mengetahui/Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Wahyudi, ST, MT
NIP 132 086 662

Aris Triwiyatno, ST
NIP 132 230 559