

RANCANG BANGUN PALANG PINTU KERETA API OTOMATIS BERDASARKAN KECEPATAN KERETA API DENGAN METODE KENDALI LOGIKA FUZZY

Edy Supriyadi, Ardi Hermanto
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta

ABSTRAK

Kecelakaan kereta api yang terjadi pada palang pintu perlintasan sebidang, dapat terjadi dikarenakan tidak adanya palang pintu perlintasan kereta api, kelalaian petugas palang pintu kereta api dan sikap dari pengendara yang tidak disiplin. Dalam rangka mengurangi kecelakaan lalu lintas pada perlintasan sebidang, maka perlu digunakan sistem pengendalian penutupan palang pintu kereta api otomatis berbasis logika fuzzy yang mempertimbangkan kecepatan kereta api sebagai waktu pengaktifan palang pintu untuk menutup dan meningkatkan sistem keamanan pada pintu perlintasan kereta api agar tidak ada lagi pengendara yang menerobos palang pintu kereta api. Sehingga keadaan jalan pada perlintasan kereta api dapat dengan cepat kembali normal agar pengguna jalan tidak terlalu lama dalam menunggu kereta api yang akan melintas sekaligus mengurangi tingkat kecelakaan akibat *human error*.

Sistem pengendalian palang pintu kereta api otomatis ini menggunakan sistem kendali logika fuzzy. Prinsip kerja dari sistem ini berdasarkan kecepatan kereta api yang diproses oleh mikrokontroler dan hasilnya diproses oleh logika fuzzy. Sistem kendali logika fuzzy digunakan untuk mencari waktu yang tepat untuk palang pintu menutup. Berdasarkan hasil pengujian sistem palang pintu kereta api yang berdasarkan kecepatan kereta api dengan kendali logika fuzzy didapatkan kesimpulan bahwa semakin cepat kecepatan kereta api maka semakin cepat pula palang pintu akan menutup dan sebaliknya.

Kata kunci: Logika fuzzy, palang pintu kereta api, arduino mega, sensor ultrasonik

ABSTRACT

Train accidents occurring at the crossbar of a partial crossing may occur due to the absence of a railway crossing gate, the neglect of the railway door attendant and the attitude of an undisciplined rider. In order to reduce traffic accidents on a partial crossing, it is necessary to use a fuzzy logic railway-guarded automatic railway closure control system that takes into account the railway speed as a turnaround time for closing and improving the security system at the railway crossing door so no more riders who broke through the railway door. So that the state of the road on the train crossings can quickly return to normal so that road users not too long in waiting for the train that will pass while reducing the accident rate due to human error.

This automatic railway door control system uses a fuzzy logic control system. The working principle of this system is based on rail speed processed by microcontroller and the result is processed by fuzzy logic. The fuzzy logic control system is used to find the right time to close the door. Based on the results of testing railway door system based on the speed of the train with fuzzy logic control it is concluded that the faster the speed of the train the faster the door will close and vice versa.

Keywords: Fuzzy logic, railway door, arduino mega, ultrasonic sensor

1. PENDAHULUAN

Pintu perlintasan kereta api merupakan salah satu teknologi yang terdapat dalam sistem pengamanan perlintasan kereta api. Perlintasan kereta api dibagi dalam dua macam, yaitu perlintasan sebidang dan perlintasan tidak sebidang. Perlintasan sebidang yang diartikan sebagai elevasi jalan rel dan jalan raya ada pada satu bidang. Perlintasan tidak sebidang yang diartikan sebagai elevasi jalan rel dan jalan raya tidak berada pada satu bidang.

Kecelakaan kereta api pada palang pintu perlintasan sebidang merupakan salah satu peristiwa transportasi yang sering terjadi di Indonesia.

Penyebab terjadinya kecelakaan tersebut akibat tidak adanya pintu perlintasan atau kelalaian petugas palang pintu perlintasan untuk memerintahkan penutupan pintu perlintasan (*human error*) atau sikap dari para pengendara yang tidak disiplin.

Oleh karena itu perlu dikembangkan teknologi yang dapat mengurangi jumlah operator sekaligus mengurangi kecelakaan akibat *human error*. Sehingga dibutuhkan sebuah sistem pengendalian penutupan palang pintu kereta api secara otomatis yang mempertimbangkan kecepatan kereta api sebagai waktu pengaktifan palang pintu untuk menutup dan meningkatkan sistem keamanan pada

pintu perlintasan agar tidak ada lagi pengendara yang menerobos palang pintu kereta api.

Dari sistem ini diharapkan pewartuan dari hasil output fuzzy untuk mengaktifkan palang pintu kereta api memiliki ketepatan waktu yang sesuai dengan kecepatan kereta api yang melintas sehingga keadaan jalan pada perlintasan kereta api dapat dengan cepat kembali normal agar pengguna jalan tidak terlalu lama dalam menunggu kereta api yang akan melintas sekaligus mengurangi tingkat kecelakaan akibat *human error*.

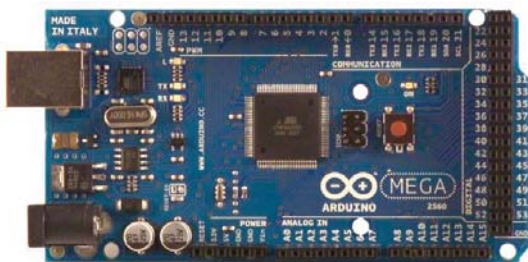
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler pada suatu rangkaian elektronik berfungsi sebagai pengendali yang mengatur jalannya proses kerja dari rangkaian elektronik. Didalam suatu IC mikrokontroler terdapat CPU, memori, timer, saluran komunikasi serial dan paralel, port input/output, ADC dan lain-lain. Mikrokontroler digunakan dalam sistem elektronik modern, seperti : Sistem manajemen mesin mobil, keyboard komputer, instrumen pengukuran elektronik (seperti multimeter digital, *synthesizer* frekuensi dan oskiloskop), televisi, radio, telepon digital, mobile phone dan lain – lain.^[7]

2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah *board* arduino yang menggunakan ic mikrokontroler ATmega 2560. *Board* ini memiliki 54 digital *input/output* (15 buah diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 buah analog *input*, 4 UARTs (*universal asynchronous receiver/transmitter*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, socket ICSP (*In-Circuit System Programming*) dan tombol reset. Spesifikasi *board* arduino mega 2560 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.^[7]



Gambar 2.1. Arduino Mega 2560

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega 2560
Tegangan Operasional	5 V
Tegangan Input	7 – 12 V

(rekomendasi)	
Tegangan Input (limit)	6 – 20 V
Pin Analog Input	16 (A0 s.d A.15)
Pin Digital I/O	54 (15 buah diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM)
Arus DC per Pin I/O	40 mA
Arus DC untuk Pin 3.3 V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

2.3 Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut.

2.4 Metode Mamdani

Metode Mamdani sering dikenal dengan metode *MIN-MAX*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan yaitu :

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy
 Pada metode ini, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Aplikasi Fungsi Implikasi
 Pada metode ini fungsi implikasi yang digunakan adalah implikasi *MIN*. Fungsi ini akan memotong output himpunan fuzzy yang paling kecil keluarannya.
3. Komposisi Aturan
 Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam menggunakan inferensi sistem fuzzy, yaitu: *max*, *additive*, *probabilistic*.
 - a. Metode *maximum* (MAX)
 Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai

maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap – tiap proposisi. Secara umum dpt dituliskan :

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i))$$

dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuensi fuzzy sampai aturan ke-i.

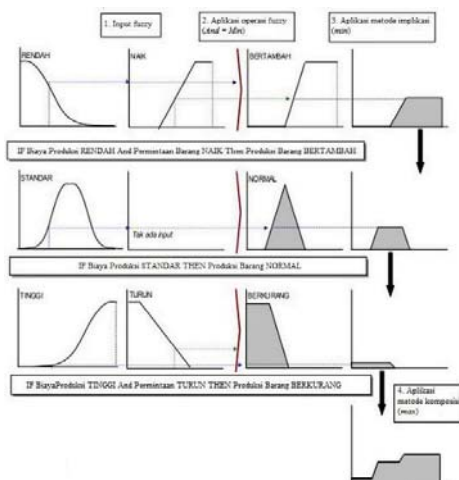
Misalkan ada 3 aturan (proposisi) sebagai berikut :

[R1] IF Biaya Produksi RENDAH AND Permintaan NAIK THEN Produksi Barang BERTAMBAH.

[R2] IF Biaya Produksi STANDAR THEN Produksi Barang NORMAL.

[R3] IF Biaya Produksi TINGGI AND Permintaan TURUN THEN Produksi Barang BERKURANG.

Proses inferensi dengan menggunakan metode *MAX* dalam melakukan komposisi aturan seperti terlihat pada gambar 2.1. Apabila digunakan fungsi implikasi *MIN*, maka metode komposisi ini sering disebut dengan *MIN-MAX* atau Mamdani.



Gambar 2.2. Metode komposisi *MIN-MAX* Mamdani.

b. Metode *additive* (SUM)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan :

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i))$$

dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuensi fuzzy sampai aturan ke-i.

c. Metode *probor* (probabilistik OR)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan :

$$\mu_{sf}(x_i) = \left((\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) - (\mu_{sf}(x_i) * \mu_{kf}(x_i)) \right)$$

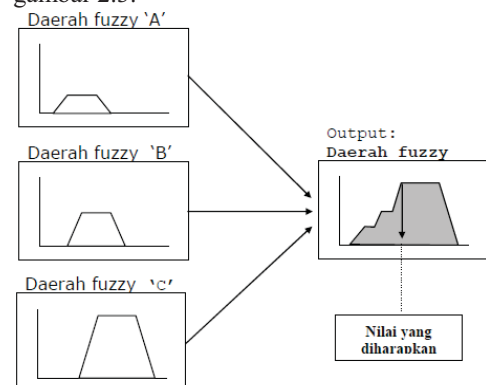
dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i.

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuensi fuzzy sampai aturan ke-i.

4. Penegasan (defuzzyfikasi)

Input dari proses defuzzyfikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan – aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam jarak tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai batasan tertentu sebagai output seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Daerah defuzzyfikasi.

Ada beberapa metode defuzzyfikasi pada komposisi aturan Mamdani, antara lain :

- Metode *Centroid (composite moment)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan :

Untuk variabel kontinyu :

$$z^* = \frac{\int_a^b \mu(x) \cdot x dx}{\int_a^b \mu(x) dx}$$

Untuk variabel diskrit :

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n x_j \cdot \mu(x_j) \cdot x dx}{\sum_{j=1}^n \mu(x_j)}$$

- Metode Bisektor
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.
- Metode *Mean of Maximum (MOM)*
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

- Metode *Largest of Maximum (LOM)*
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
- Metode *Smallest of Maximum (SOM)*
 Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.^[4]

2.5 Sensor Ultrasonik HC – SR04

Sensor ultrasonik adalah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik). Bentuk fisik sensor ini tampak seperti Gambar 2.4.

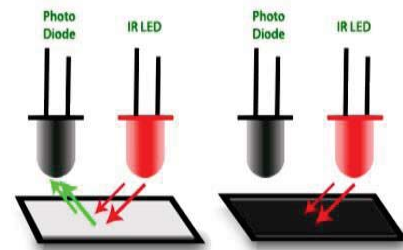


Gambar 2.4. Sensor Ultrasonik HC-SR04.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi sangat tinggi yaitu 20 KHz. Bunyi ultrasonik tidak dapat di dengar oleh telinga manusia. Bunyi ultrasonik dapat didengar oleh anjing, kucing, kelelawar dan lumba-lumba. Bunyi ultrasonik bisa merambat melalui zat padat, cair dan gas. Reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat padat hampir sama dengan reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat cair. Akan tetapi, gelombang bunyi akan diserap oleh tekstil dan busa.^[8]

2.6 Sensor Infrared TCRT 5000

Sensor TCRT 5000 adalah sensor reflective atau pantulan yang dibuat dengan sebuah infrared sebagai pemancarnya dan photodiode/transistor sebagai penerimanya. Sensor infrared TCRT – 5000 menggunakan prinsip pantulan cahaya inframerah untuk menentukan nilai outputnya. Ketika pantulan cahaya infrared dinilai kurang atau tidak ada (pada objek berwarna gelap atau hitam), phototransistor akan dalam kondisi off dan terminal output dari modul akan memberikan nilai HIGH. Jika terdapat pantulan cahaya yang dinilai memadai (pada permukaan terang atau putih) maka intensitas cahaya yang dipantulkan dan diterima oleh phototransistor akan cukup besar untuk berada dalam kondisi on dan modul akan memberikan output LOW (indikator led akan menyala). Gambar 2.5 sebagai contoh pantulan sensor infrared TCRT – 5000.



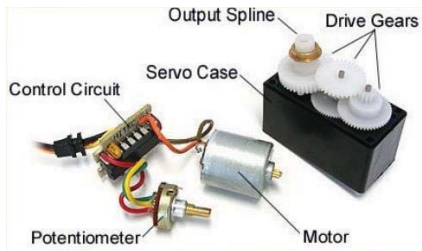
Gambar 2.5. Pantulan dari IR LED ke IR Photodiode

2.7 Motor Servo DC

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (*clockwise* dan *counter clockwise*) dengan arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikontrol hanya dengan memberikan variasi lebar pulsa (*duty cycle*) sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya.

Motor servo terdiri dari atas sebuah rangkaian pengontrol, sebuah potensiometer dan sejumlah gear untuk memperbesar torsi. Motor dan potensiometer dihubungkan ke rangkaian pengontrol dan ketiganya membentuk sistem loop tertutup. Untuk mengaktifkan motor, sebuah sinyal digital dikirim ke rangkaian pengontrol. Potensiometer ini bertugas

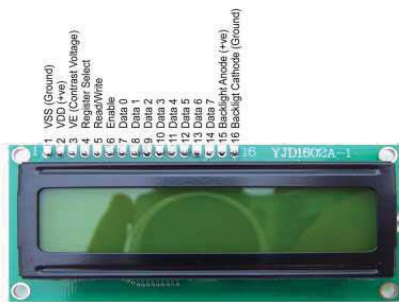
untuk memonitor sudut poros motor servo. Motor akan berputar ke arah sudut yang diinginkan sampai sudut poros motor servo sesuai dengan yang diinginkan, kemudian motor akan berhenti bergerak. Sebuah motor servo yang normal tidak dapat berputar lebih jauh, dikarenakan sebuah penghalang mekanik yang diselipkan pada roda gigi keluaran utama. Bagian motor servo dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Bagian Motor Servo

2.8 LCD (Liquid Crsytal Display)

LCD adalah suatu *display* dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan *system dot matriks*. LCD berfungsi untuk menampilkan data yang digunakan. Tipe LCD yang digunakan yaitu LCD 16x2.



Gambar 2.7. LCD 16x2.

2.9 I2C(Inter Intergrated Circuit)

I2C LCD adalah modul LCD yang dikendalikan secara serial sinkron dengan protokol I2C (*Inter Integrated Circuit*). Umumnya, modul LCD dikendalikan secara paralel baik untuk jalur data maupun kontrolnya. Namun, jalur paralel akan memerlukan banyak pin di sisi *controller*. Setidaknya membutuhkan 6 – 7 pin untuk mengendalikan sebuah



Gambar 2.8. Modul I2C Converter.

modul LCD. Dengan demikian, untuk *controller* dengan banyak I/O menggunakan jalur paralel kurang tepat.

Untuk I2C LCD membutuhkan modul I2C *Converter*. Modul I2C *converter* ini menggunakan chip IC PCF8574 produk dari NXP sebagai kontrollernya. IC ini adalah sebuah 8 bit I/O *expander* for I2C *bus* yang pada dasarnya adalah sebuah *shift register*.^[11]

2.10 LED (Light Emitting Diode)

LED merupakan salah satu jenis dioda, sehingga hanya akan mengalirkan arus listrik satu arah saja. LED akan memancarkan cahaya apabila diberikan tegangan listrik dengan konfigurasi *foward bias*. Berbeda dengan dioda pada umumnya, kemampuan mengalirkan arus pada LED cukup rendah maksimal 20 mA. Apabila LED dialiri arus lebih besar dari 20 mA, maka LED akan rusak sehingga pada rangkaian LED dipasang sebuah resistor sebagai pembatas arus.

2.11 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja buzzer hampir sama dengan *loud speaker*, buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet. Kumparan tersebut akan tertarik kedalam atau keluar, tergantung arah arus dan polaritas magnetnya.

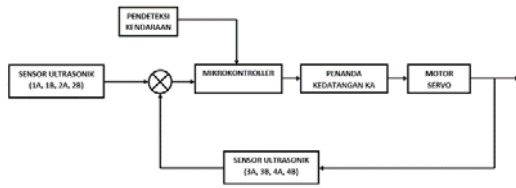
Kumparan yang dipasang pada diafragma akan menyebabkan setiap getaran kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak – balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (*alarm*).^[14]

3. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Sistem Palang Pintu Kereta Api

Perancangan sistem palang pintu kereta api ini lebih difokuskan pada perancangan sistem pewaktuan penutupan palang pintu kereta api pada jalur rel ganda berdasarkan kecepatan kereta api. Kemudian dalam perancangan ini terdiri atas dua bagian yang saling mendukung, yaitu perencanaan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Dimana perangkat lunak yang dibuat akan mengendalikan perangkat keras yang digunakan melalui sebuah mikrokontroller dan perangkat keras ini akan melakukan umpan balik (*feedback*) kepada perangkat lunak sehingga sistem pengontrolan menjadi loop tertutup (*closed loop*). Diagram Blok berikut ini akan menjelaskan mengenai

sistem pengendalian yang digunakan.



Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem Palang Pintu Kereta Api.

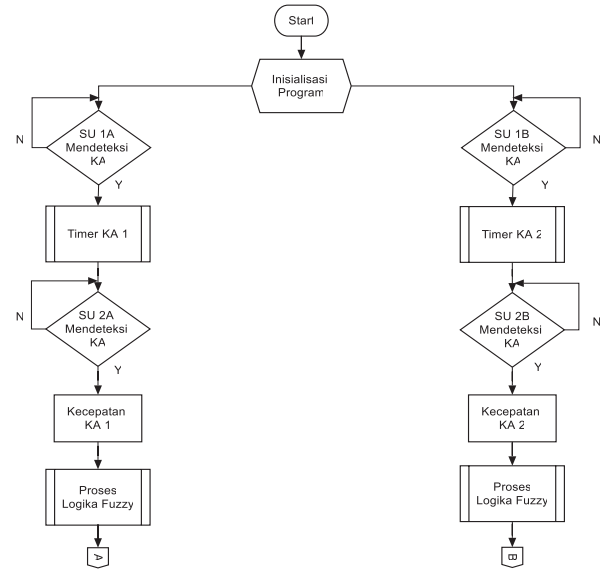
3.2 Prinsip Kerja Sistem Palang Pintu Kereta Api

Pada sistem palang pintu kereta api ini, diterapkan pada perlintasan jalur rel ganda dimana untuk mendeteksi kecepatan kereta api yang melintas digunakan dua buah sensor jarak ultrasonik HC-SR04. Dimana sensor ultrasonik 1 untuk mengaktifkan waktu hitung kecepatan serta sebagai pendeteksi kedatangan kereta api dan sensor ultrasonik 2 untuk menghentikan waktu hitung kecepatan. Kemudian jarak antara sensor ultrasonik 1 dan 2 dibagi dengan waktu hitung kecepatan sehingga didapat kecepatan kereta api. Sensor ultrasonik 2 juga berfungsi untuk mengaktifkan buzzer sebagai penanda kedatangan kereta api dan mendeteksi arah kedatangan kereta api yang diindikasikan oleh LED.

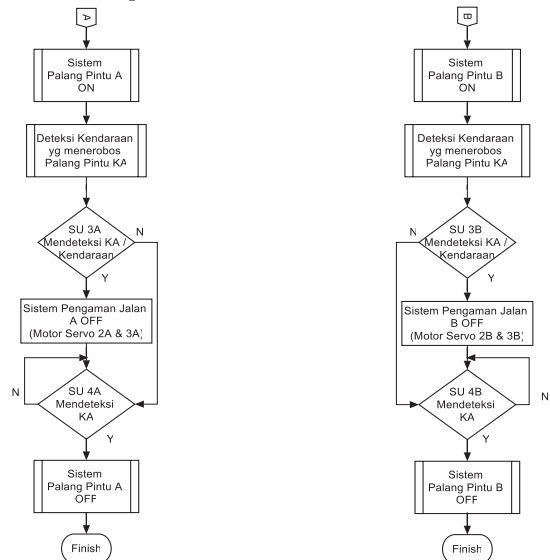
Hasil dari pembacaan sensor pendeteksian kecepatan kereta api ini kemudian diproses oleh waktu pengaktifan motor servo palang pintu kereta api. Untuk mendeteksi adanya kendaraan yang menerobos saat palang pintu mulai menutup maka digunakan sensor infrared TCRT 5000 yang membuat sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api aktif. Sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api ini digerakkan oleh motor servo.

Saat palang pintu sudah tertutup dan sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api sudah aktif terdapat kendaraan yang terjebak diatas rel perlintasan kereta api maka sensor ultrasonik 3 akan menonaktifkan sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api. Setelah kereta api melintas maka sensor ultrasonik 4 berfungsi untuk membuka palang pintu kereta api dan menonaktifkan buzzer, LED penunjuk arah kedatangan kereta api, sistem

pengaman jalan pada perlintasan kereta api.



Gambar 3.2. Flowchart keseluruhan sistem palang pintu kereta api otomatis bagian pertama.

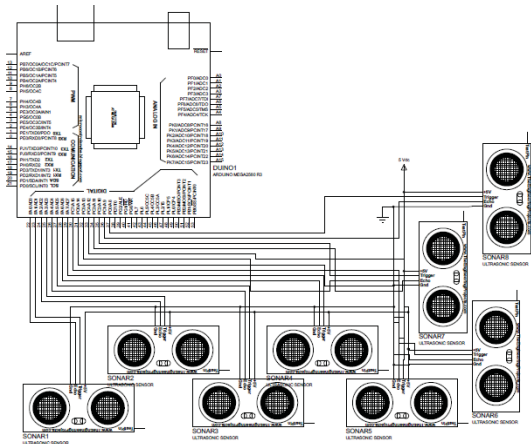


Gambar 3.3. Flowchart keseluruhan sistem palang pintu kereta api otomatis bagian kedua.

3.3 Perancangan Perangkat Keras

3.3.1 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04

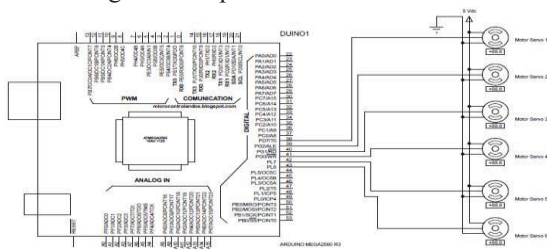
Sensor jarak ultrasonik HC – SR04 berfungsi untuk mengukur jarak antara sensor dengan objek di depannya dengan jangkauan 2 cm hingga 4 meter. Pada sistem palang pintu kereta api ini, sensor jarak ultrasonik HC – SR04 digunakan untuk mendeteksi kereta yang melintas dan kendaraan yang terjebak pada rel perlintasan kereta api.



Gambar 3.4. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04.

3.3.2 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Motor Servo

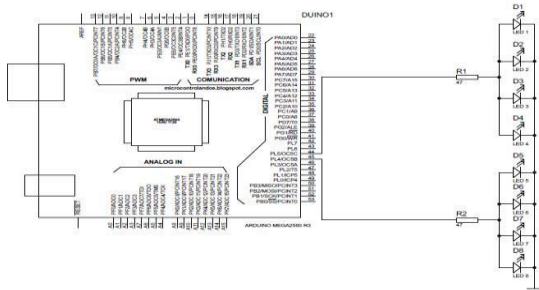
Motor servo ini berfungsi sebagai penggerak palang pintu kereta api dan sistem pengaman jalan. Pin control pada motor servo dihubungkan ke arduino untuk mengatur arah putaran rotor motor servo.



Gambar 3.5. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Motor Servo.

3.3.3 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan LED

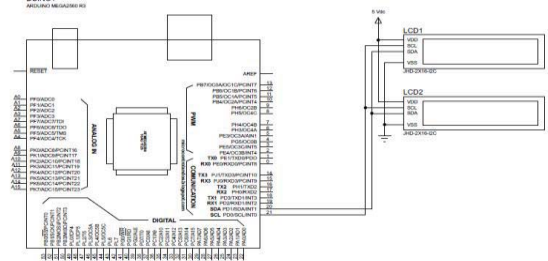
LED ini berfungsi sebagai penanda arah kedatangan kereta api yang melintas. Pin anoda pada LED dihubungkan ke arduino untuk mengontrol LED agar hidup dan mati secara bergantian. Arus maksimal yang diperbolehkan melalui LED adalah 20 mA.



Gambar 3.6. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan LED.

3.3.4 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan LCD I2C

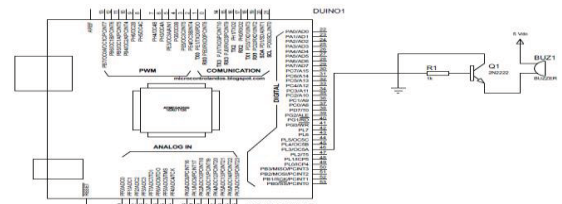
LCD I2C 16x2 ini berfungsi sebagai penampil intruksi kepada pengendara bahwa kereta akan melintas. Pada LCD ini digunakan I2C (*Inter Integrated Circuit*) sebagai standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk menerima dan mengirim data. Pada mekanisme hubungan antar komponen ini, I2C hanya membutuhkan dua jalur / kabel yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock Line*). Dimana SDA digunakan untuk mentransmisikan data dan SCL digunakan untuk menghantarkan sinyal clock.



Gambar 3.7. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan LCD I2C.

3.3.5 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Buzzer

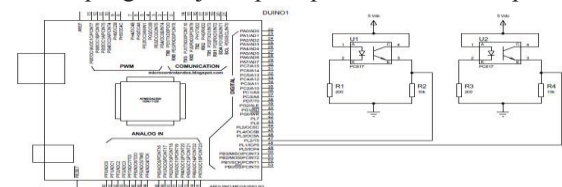
Buzzer berfungsi sebagai penanda kedatangan kereta api yang akan melintas.



Gambar 3.8. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Buzzer.

3.3.6 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Sensor Infrared TCRT – 5000.

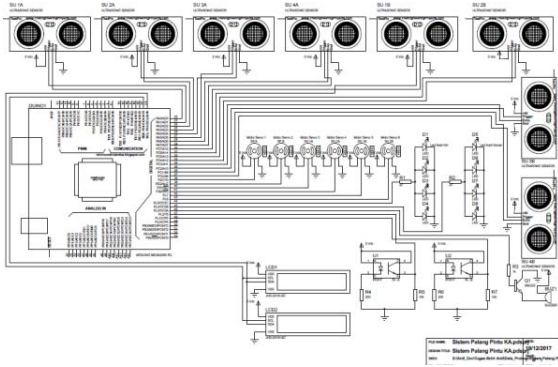
Sensor infrared TCRT – 5000 ini berfungsi untuk mendeteksi kendaraan yang menerobos saat palang pintu kereta api mulai menutup. Sensor ini digunakan sebagai inputan untuk mengaktifkan sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api.



Gambar 3.9. Rangkaian Sistem Minimum ATmega 2560 dengan Sensor Infrared TCRT – 5000.

3.3.7 Skematik Rangkaian Keseluruhan

Dari rangkaian – rangkaian sebelumnya dapat dibentuk menjadi satu rangkaian keseluruhan yang mencakupi Rangkaian Minimum ATmega 2560, Rangkaian Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04, Rangkaian Sensor Infrared TCRT-5000, Rangkaian Motor Servo, Rangkaian LED, Rangkaian Buzzer dan Rangkaian LCD I2C 16x2.



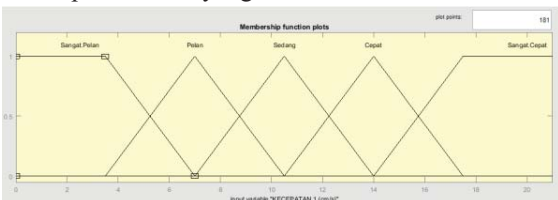
Gambar 3.10. Skematik Rangkaian Keseluruhan.

3.4 Perancangan Logika Fuzzy Palang Pintu Kereta Api

Perancangan digunakan untuk pewaktuan aktifasi motor palang pintu kereta api dengan menggunakan kendali logika fuzzy yang memiliki waktu yang tidak tetap dan berubah – ubah sesuai dengan kecepatan kereta api yang melintas berdasarkan fuzzyfikasi, evaluasi aturan dan defuzzyfikasi yang telah dirancang, hal ini dilakukan pada miniatur perlintasan kereta api yang telah ditetapkan.

3.4.1 Proses Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah proses untuk mengubah masukan berupa kecepatan miniatur kereta api 1 dan kereta api 2 menjadi masukan fuzzy berupa derajat keanggotaan. Pada perancangan sistem palang pintu kereta api ini, fungsi keanggotaan kecepatan miniatur kereta api 1 dan kereta api 2 dikategorikan kedalam 5 label yaitu Sangat Pelan, Pelan, Sedang, Cepat dan Sangat Cepat. Masing – masing fungsi keanggotaan memiliki representasi yang bervariasi untuk mendapatkan hasil yang sesuai.



Gambar 3.11. Fungsi keanggotaan pada fuzzy kecepatan miniatur kereta api pertama dan kedua.

Adapun Tabel 3.2 yang menguraikan secara jelas tentang fungsi keanggotaan kecepatan miniatur kereta api pertama yang dikategorikan kedalam 5 label.

Tabel 3.2. Nilai untuk label linguistik kecepatan miniatur kereta api pertama dan kedua.

Label Linguistik	Nilai Input Crisp (cm/s)
Sangat Pelan	0 – 7
Pelan	3.5 – 10.5
Sedang	7 – 14
Cepat	10.5 – 17.5
Sangat Cepat	14 – 21

3.4.2 Proses Inferensi

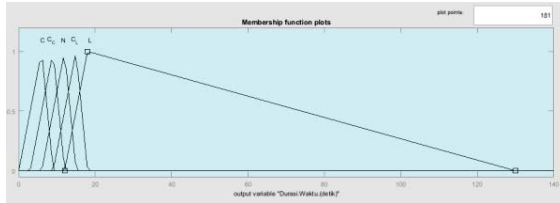
Untuk melakukan proses defuzzyfikasi diperlukan aturan – aturan yang digunakan untuk memperoleh keluaran berupa durasi waktu pengaktifan motor palang pintu kereta api. Berikut terdapat *Fuzzy Associative Memory* (FAM) yang digunakan untuk memetakan aturan – aturan yang dibuat dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. *Fuzzy Assosiative Memory* palang pintu kereta api.

Kec. 2 (cm/s) \ Kec. 1 (cm/s)	SANGAT PELAN (0 – 7)	PELAN (3.5 – 10.5)	SEDANG (7 – 14)	CEPAT (10.5 – 17.5)	SANGAT CEPAT (14 – 21)
SANGAT PELAN (0 – 7)	LAMBAT	CUKUP LAMBAT	NORMAL	CUKUP CEPAT	CEPAT
PELAN (3.5 – 10.5)	CUKUP LAMBAT	CUKUP LAMBAT	NORMAL	CUKUP CEPAT	CEPAT
SEDANG (7 – 14)	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CUKUP CEPAT	CEPAT
CEPAT (10.5 – 17.5)	CUKUP CEPAT	CUKUP CEPAT	CUKUP CEPAT	CUKUP CEPAT	CEPAT
SANGAT CEPAT (14 – 21)	CEPAT	CEPAT	CEPAT	CEPAT	CEPAT

3.4.3 Proses Defuzzyfikasi

Masukan dari proses ini adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan – aturan fuzzy, sedangkan keluarannya didapat dari hasil perhitungan defuzzyfikasi dalam range yang sudah ditentukan. Untuk durasi waktu pengaktifan motor palang pintu kereta api, fungsi keanggotaan yang digunakan adalah segitiga dengan 5 nilai linguistik yaitu : Cepat, Cukup Cepat, Normal, Cukup Lambat, dan Lambat. Bentuk fuzzy untuk durasi waktu pengaktifan motor palang pintu kereta api seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Fungsi keanggotaan pada fuzzy durasi waktu pengaktifan palang pintu kereta api.

Adapun Tabel 3.4 yang menguraikan secara jelas tentang fungsi keanggotaan durasi waktu pengaktifan motor palang pintu kereta api yang dikategorikan kedalam 5 label.

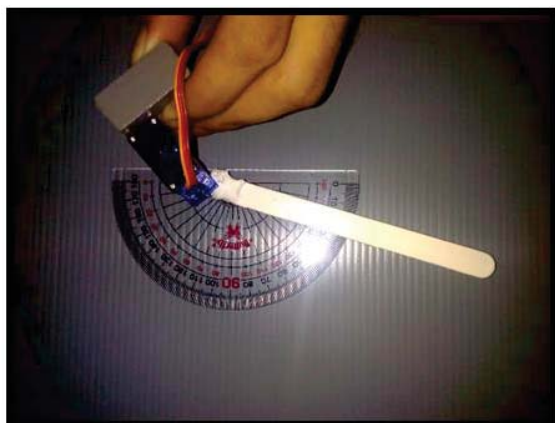
Tabel 3.4. Nilai untuk label linguistik durasi waktu pengaktifan motor palang pintu kereta api.

Label Linguistik	Nilai Input <i>Crisp</i> (detik)
Cepat	0 – 9
Cukup Cepat	3 – 12
Normal	6 – 15
Cukup Lambat	9 – 18
Lambat	12 – 130

4. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA

4.1 Pengujian Ketelitian Sudut pada Motor Servo

Pengujian ketelitian sudut pada motor servo dilakukan untuk menganalisis sudut dari motor servo dengan menggunakan busur untuk mengetahui tingkat akurasi kendali mikrokontroler terhadap servo. Berikut hasil pengujian pada ketelitian sudut pada motor servo ditunjukkan pada Tabel 4.3.



Gambar 4.1. Pengujian Ketelitian sudut motor servo SG90.



Gambar 4.2. Pengujian Ketelitian sudut motor servo MG 996 R.

Tabel 4.1. Pengujian ketelitian sudut motor servo.

Percobaan ke	Pemrograman sudut motor servo dengan arduino (derajat)		Pengukuran secara manual (derajat)	Persentase Kesalahan (%)	
	Servo SG90	Servo MG 996 R		Servo SG90	Servo MG 996 R
1	10,1	10,1	10	0,99	0,99
2	20,2	20,1	20	0,99	0,49
3	30,2	30,2	30	0,66	0,66
4	40,1	40,1	40	0,25	0,25
5	50,3	50,3	50	0,6	0,6
6	60,2	60,2	60	0,33	0,33
7	70,4	70,1	70	0,57	0,14
8	80,3	80,2	80	0,37	0,25
9	90,1	90,1	90	0,11	0,11
Rata – rata kesalahan				0,54	0,42

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengujian ketelitian sudut servo dimana rata-rata perbedaan ketelitian sudut servo SG90 sebesar 0,21 derajat dengan rata – rata persentase kesalahan sebesar 0,54 % dan ketelitian sudut servo MG 996R sebesar 0,15 derajat dengan rata – rata persentase kesalahan sebesar 0,42%. Maka dapat dikatakan hasil pengujian ketelitian sudut motor servo menghasilkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan pengujian secara manual menggunakan busur.

4.2 Pengujian Sistem Pengukur Kecepatan Kereta Api

Pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api ini dilakukan dengan menampilkan hasil pengukuran kecepatan oleh arduino pada LCD dan pengukuran secara manual menggunakan stopwatch. Dimana tegangan awal mainan kereta api ini adalah 2,62 Volt untuk kecepatan kereta api 20 cm/s, 2,64 Volt untuk kecepatan kereta api 13,33 cm/s dan 2,79 Volt untuk kecepatan kereta api 10 cm/s. Berikut hasil pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4.

Tabel 4.2. Hasil pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api tanpa beban.

Percobaan ke	Waktu terukur menggunakan stopwatch (s)		Kecepatan terukur secara manual (cm/s)		Kecepatan terukur dari miniatur (cm/s)	Persentase Kesalahan (%)		
	A	B	A	B		A	B	
	1	1,77	1,75	40/1,77 = 22,60		40/1,75 = 22,86	20	11,5
2	1,82	1,94	40/1,82 = 21,98	40/1,94 = 20,62	20	9	3	
3	1,65	1,96	40/1,65 = 24,24	40/1,96 = 20,41	20	17,5	2	
4	1,95	1,77	40/1,95 = 20,51	40/1,77 = 22,60	20	2,5	11,5	
5	1,72	1,93	40/1,72 = 23,26	40/1,93 = 20,73	20	14	3,5	
6	1,76	1,87	40/1,76 = 22,73	40/1,87 = 21,39	20	12	6,5	
7	1,81	1,78	40/1,81 = 22,10	40/1,78 = 22,47	20	9,5	11	
8	1,74	1,83	40/1,74 = 22,99	40/1,83 = 21,86	20	13	8,5	
9	1,84	1,92	40/1,84 = 21,74	40/1,92 = 20,83	20	8	4	
10	1,69	1,65	40/1,69 = 23,67	40/1,65 = 24,24	20	15,5	17,5	
Rata – rata kesalahan						11,25	8	

Tabel 4.3. Hasil pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api dengan beban 60 gram.

Percobaan ke	Waktu terukur menggunakan stopwatch (s)		Kecepatan terukur secara manual (cm/s)		Kecepatan terukur dari miniatur (cm/s)	Persentase Kesalahan (%)		
	A	B	A	B		A	B	
	1	2,57	2,59	40/2,57 = 15,56		40/2,59 = 15,44	13,33	14,35
2	2,56	2,55	40/2,56 = 15,63	40/2,55 = 15,69	13,33	14,69	15,02	
3	2,71	2,57	40/2,71 = 14,76	40/2,57 = 15,56	13,33	9,69	14,35	
4	2,82	2,52	40/2,82 = 14,18	40/2,52 = 15,87	13,33	6,02	16,02	
5	2,81	2,93	40/2,81 = 14,23	40/2,93 = 13,65	13,33	6,36	2,36	
6	2,73	2,88	40/2,73 = 14,65	40/2,88 = 13,89	13,33	9,02	4,02	
7	2,91	2,95	40/2,91 = 13,75	40/2,95 = 13,56	13,33	3,02	1,69	
8	2,89	2,61	40/2,89 = 13,84	40/2,61 = 15,33	13,33	3,69	13,02	
9	2,73	2,95	40/2,73 = 14,65	40/2,95 = 13,56	13,33	9,02	1,69	
10	2,76	2,73	40/2,76 = 14,49	40/2,73 = 14,65	13,33	8,02	9,02	
Rata – rata kesalahan						8,39	9,09	

Tabel 4.4. Hasil pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api dengan beban 120 gram.

Percobaan ke	Waktu terukur menggunakan stopwatch (s)		Kecepatan terukur secara manual (cm/s)		Kecepatan terukur dari miniatur (cm/s)	Persentase Kesalahan (%)		
	A	B	A	B		A	B	
	1	3,59	3,99	40/3,59 = 11,14		40/3,99 = 10,03	10	10,25
2	3,73	3,86	40/3,73 = 10,72	40/3,86 = 10,36	10	6,75	3,5	
3	3,86	4	40/3,86 = 10,36	40/4 = 10,00	10	3,5	0	
4	3,72	3,84	40/3,72 = 10,75	40/3,84 = 10,42	10	7	4	
5	3,47	3,9	40/3,47 = 11,53	40/3,9 = 10,26	10	13,25	2,5	
6	3,79	3,45	40/3,79 = 10,55	40/3,45 = 11,59	10	5,25	13,75	
7	3,89	3,42	40/3,89 = 10,28	40/3,42 = 11,70	10	2,75	14,5	
8	3,74	3,78	40/3,74 = 10,70	40/3,78 = 10,58	10	6,5	5,5	
9	3,91	3,66	40/3,91 = 10,23	40/3,66 = 10,93	10	2,25	8,5	
10	3,99	3,83	40/3,99 = 10,03	40/3,83 = 10,44	10	0,25	4,25	
Rata – rata kesalahan						5,77	5,67	

Dilihat dari Tabel 4.2 didapat rata-rata selisih kesalahan pengukuran kecepatan kereta tanpa beban menggunakan sistem arduino dan pengukuran secara manual dengan menggunakan stopwatch sebesar 2,58 cm/s pada Jalur A dan 1,8 cm/s pada Jalur B serta rata – rata persentase kesalahan sebesar 11,25 % pada Jalur A dan 8 % pada Jalur B. Pada Tabel 4.3 didapat rata-rata selisih kesalahan pengukuran kecepatan kereta dengan beban 60 gram menggunakan sistem arduino dan pengukuran secara manual dengan menggunakan stopwatch sebesar 1,24 cm/s pada Jalur A dan 1,39 cm/s pada Jalur B serta rata – rata persentase kesalahan sebesar 8,39 % pada Jalur A

dan 9,09 % pada Jalur B. Pada Tabel 4.4 didapat rata-rata selisih kesalahan pengukuran kecepatan kereta dengan beban 120 gram menggunakan sistem arduino dan pengukuran secara manual dengan menggunakan stopwatch sebesar 0,629 cm/s pada Jalur A dan 0,63 cm/s pada Jalur B serta rata – rata persentase kesalahan sebesar 5,77 % pada Jalur A dan 5,67 % pada Jalur B. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat selisih antara data pengukuran dengan perhitungan manual dimana timer manual menggunakan stopwatch. Selisih tersebut bisa muncul dikarenakan dalam pengujian stopwatch tidak tepat dalam pengoperasiannya, baik itu saat mulai pengujian atau saat selesai melakukan pengujian dan tegangan baterai dari kereta api mainan yang berangsur – angsur akan turun tegangannya yang membuat kecepatan kereta api tidak stabil serta ketepatan waktu mikrokontroller tiap detiknya memiliki perbedaan dengan waktu pada jam digital. Hal ini terjadi karena program yang ditanamkan ke mikrokontroller terlalu besar dan banyak prosesnya sehingga clock menjadi tidak akurat.

4.3 Pengujian Fuzzy Kecepatan

Hasil akhir dari pendeteksian kecepatan kereta api ini akan dijadikan sebuah masukan untuk fuzzy. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai keluaran fuzzy hasil dari proses rule base evaluation dan proses defuzzyfikasi sudah sesuai dengan yang diharapkan pada program. Berikut adalah data hasil pengujian proses fuzzy dari kecepatan kereta api yang terdeteksi pada jalur A dan jalur B.

Tabel 4.5. Pengujian Fuzzy Kecepatan.

Percobaan dilakukan sebanyak	Kecepatan (cm/s)	Waktu Aktif Palang Pintu Kereta Api						Rata – Rata Persentase Kesalahan (%)	
		Defuzzyfikasi (detik)		Manual (detik)		Selisih Pengukuran (detik)			
		A	B	A	B	A	B	A	B
10 kali	20	5	5	4,51	4,54	0,49	0,46	9,74	9,2
10 kali	13,33	8,67	8,67	7,22	7,27	1,45	1,4	16,7	16,14
10 Kali	10	11,5	11,5	8,88	8,87	2,62	2,63	22,83	22,84

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.5 didapat selisih antara output fuzzy dengan hasil perhitungan waktu secara manual bisa muncul dikarenakan dalam pengujian stopwatch tidak tepat dalam pengoperasiannya, baik itu saat mulai pengujian atau saat selesai melakukan pengujian dan ketepatan waktu mikrokontroller tiap detiknya memiliki perbedaan dengan waktu pada jam digital. Hal ini terjadi karena program yang ditanamkan ke mikrokontroller terlalu besar dan banyak prosesnya sehingga clock menjadi tidak akurat.

4.4 Pengujian Sistem Miniatur Secara Keseluruhan

Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil kinerja dari sistem penutup palang pintu kereta api ketika kereta terdeteksi pada sensor ultrasonik 1A & 1B, 2A & 2B dan 4A & 4B.

Tabel 4.6. Pengujian Sistem Keseluruhan Palang Pintu Kereta Api.

Percobaan dilakukan pada Jalur A dan B sebanyak	Posisi KA setelah	Led Arah Kedatangan Kereta	Buzzer	Status Tampilan LCD	Status Palang Pintu KA	Tingkat Keberhasilan (%)
5 kali	SU 1	Tidak Aktif	Tidak Aktif	"Hati - Hati KA"	Membuka	100
	SU 2	Led Aktif	Aktif	"Kec KA & Output fuzzy"	Menutup	100
	SU 4	Tidak Aktif	Tidak Aktif	"Selamat Jalan"	Membuka	100

Dari Tabel 4.6 hasil pengujian keseluruhan sistem palang pintu kereta api menunjukkan bahwa sistem penutupan palang pintu kereta api bekerja sesuai dengan program yang telah diinstruksikan dengan tingkat keberhasilan 100 %.

Tabel 4.7. Pengujian Sistem Keseluruhan Pengaman Jalan Saat Sensor Infrared Mendeteksi Kendaraan.

Percobaan Dilakukan Sebanyak	Status Sistem Pengaman Jalan Saat Kendaraan Terdeteksi	Sistem Pengaman Jalan				Tingkat Keberhasilan
		SH - 1A	SH - 2A	SH - 1B	SH - 2B	
5 Kali	SI - A	Diaktifkan	Diaktifkan	-	-	100 %
	SI - B	-	-	Diaktifkan	Diaktifkan	100 %

Keterangan :

(-) = tanpa kondisi

Dari Tabel 4.7 hasil pengujian Sistem keseluruhan Pengaman Jalan pada perlintasan kereta api saat sensor Infrared mendeteksi kendaraan terlihat bahwa sistem bekerja sesuai dengan program yang telah diinstruksikan dengan tingkat keberhasilan 100 %.

Dari Tabel 4.8 hasil pengujian Sistem keseluruhan Pengaman Jalan pada perlintasan kereta saat sensor Ultrasonik 3A atau 3B mendeteksi kendaraan atau kereta api terlihat bahwa sistem bekerja sesuai dengan program yang telah diinstruksikan dengan tingkat keberhasilan 100 %.

Tabel 4.8. Pengujian Sistem Keseluruhan Pengaman Jalan Saat Sensor Ultrasonik 3A atau 3B Mendeteksi Kendaraan atau Kereta Api.

Percobaan dilakukan Sebanyak	Status Sistem Pengaman Jalan Saat Kendaraan / KA Terdeteksi	Sistem Pengaman Jalan				Tingkat Keberhasilan
		SH - 1A	SH - 2A	SH - 1B	SH - 2B	
5 Kali	SU - 3A	Dinonaktifkan	Dinonaktifkan	-	-	100 %
Percobaan dilakukan Sebanyak	Status Sistem Pengaman Jalan Saat Kendaraan / KA Terdeteksi	Sistem Pengaman Jalan				Tingkat Keberhasilan
		SH - 1A	SH - 2A	SH - 1B	SH - 2B	
5 Kali	SU - 3B	-	-	Dinonaktifkan	Dinonaktifkan	100 %

Keterangan :

(-) = tanpa kondisi

Pada Tabel 4.7 dan 4.8 menunjukkan hasil kinerja dari sistem pengaman jalan pada perlintasan kereta api saat kendaraan atau kereta api terdeteksi sensor ultrasonik 3A & 3B atau sensor infrared A & B.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, analisis data dan pengujian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan tentang kinerja dari sistem yang telah dibuat, yaitu sebagai berikut :

- 1) Dari hasil pengujian sistem pengukur kecepatan kereta api didapat persentase kesalahan sebesar 11,25 % pada jalur A dan 8 % pada jalur B untuk kecepatan 20 cm/s, 8,39 % pada jalur A dan 9,09 % pada jalur B untuk kecepatan 13,33 cm/s dan 5,77 % pada jalur A dan 5,67 % pada jalur B untuk kecepatan 10 cm/s. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat selisih antara data pengukuran dengan perhitungan manual dimana *timer* manual menggunakan *stopwatch*. Selisih tersebut bisa muncul dikarenakan dalam pengujian *stopwatch* tidak tepat dalam pengoperasiannya, baik itu saat mulai pengujian atau saat selesai melakukan pengujian dan tegangan baterai dari kereta api mainan yang berangsur - angsur akan turun tegangannya yang membuat kecepatan kereta api tidak stabil serta ketepatan waktu mikrokontroler tiap detiknya memiliki perbedaan dengan waktu pada jam digital. Hal ini terjadi karena program yang ditanamkan ke mikrokontroler terlalu besar dan banyak prosesnya sehingga *clock* menjadi tidak akurat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kereta api yang sama.
- 2) Dari hasil pengujian pengujian fuzzy kecepatan untuk kecepatan 20 cm/s didapat

waktu fuzzy sebesar 5 detik dengan persentase kesalahan sebesar 9,74% pada jalur A dan 9,2 % pada jalur B, untuk kecepatan 13,33 cm/s didapat waktu fuzzy sebesar 8,67 detik dengan persentase kesalahan sebesar 16,7 % pada jalur A dan 16,14 % pada jalur B dan untuk kecepatan 10 cm/s didapat waktu fuzzy sebesar 11,5 detik dengan persentase kesalahan sebesar 22,83 % pada jalur A dan 22,84 % pada jalur B. Berdasarkan hasil pengujian diatas didapatkan kesimpulan bahwa semakin cepat kecepatan kereta api maka semakin cepat pula palang pintu kereta api akan menutup dan sebaliknya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kereta api yang sama.

- 3) Sistem keamanan jalan hidrolik pada simulasi perlintasan kereta api ini telah mampu mengamankan kendaraan khusus roda empat pada saat kendaraan hendak menerobos ketika palang pintu kereta api mulai menutup.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jenderal Perhubungan Darat. 2005. Peraturan Direktur No. SK.770/KA.401/DRJD/2005. *Tentang Pedoman Teknis Perlintasan Sebidang Antara Jalan dengan Jalur Kereta Api*, Jakarta : Sekretariat Negara.
2. Halliday D., Resnick R. 1992. *Fisika Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
3. Ogata, K. 1991. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta : Erlangga.
4. Kusumadewi, Sri. Purnomo, Hari. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta : GRAHA ILMU.
5. Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta : GRAHA ILMU.
6. S, Ir. A Soedradjat. 1983. *Mekanika Fluida & Hidrolika*. Bandung : Nova.
7. Andrianto, Heri. Darmawan, Aan. 2016. *Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman*. Bandung : INFORMATIKA.
8. Santoso, Hari. 2016. *Panduan Praktis Arduino untuk Pemula*. Penerbit : ELANG SAKTI.
9. <https://www.electronicshub.org>. 2015. IR sensor. <https://www.electronicshub.org/ir-sensor/>. Diakses pada tanggal 29 Desember 2017 pukul 19.00 WIB.
10. Ahmad, E. Nur. 2014. *Purwarupa Sistem Peringatan Dini Nirkabel Pada Jembatan Antar Pulau Oleh Angin Berbasis Arduino Nano*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
11. <http://saptaji.com>. 2016. Bekerja Dengan I2C LCD dan Arduino. <http://saptaji.com/2016/06/27/bekerja-dengan-i2c-lcd-dan-arduino/>. Diakses pada tanggal 2 Januari 2017 pukul 20.24 WIB.
12. Arifin, I. 2015. *Automatic Water Level Control Berbasis Microcontroller dengan Sensor Ultrasonik*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
13. Laboratorium Mikrokontroler. *Buku Petunjuk Praktikum Mikrokontroler*. Surabaya: Universitas Narotama Surabaya.
14. Lena, S., Putrawan, B. 2014. *Perancangan Sistem Pengaman Rumah Menggunakan Keypad dan Teknologi SMS Berbasis Mikrokontroler*. Jurnal STMIK LPKIA.1:1-6.
15. Ismawaati, D., Syauby, D., Prasetyo, B. Henryranu. *Perbandingan Jumlah Membership dan Model Fuzzy Terhadap Perubahan Suhu Pada Inkubator Penetas Telur*. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.1:476-485.
16. Ratna Wati, D. Ana. 2011. *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta : GRAHA ILMU.
17. Firdaus, M. Azzam. 2016. *Miniatur Palang Pintu Kereta Api Otomatis dengan Menampilkan Kecepatan Kereta serta Waktu Tunggu Menggunakan Arduino*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
18. Nadhif, Mohamad. 2015. *Aplikasi Fuzzy Logic untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 dengan Sensor Photodiode*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
19. Asyukron, Fajri. 2015. *Rancang Bangun Lampu Lalu Lintas Terintegrasi Menggunakan Sistem Kendali Logika Fuzzy*. Jakarta : Institut Sains dan Teknologi Nasional.
20. Republik Indonesia. 2011. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM. 10 TAHUN 2011. *Tentang Persyaratan Teknis Peralatan Persinyalan Perkeretaapian*, Jakarta: Sekretariat Negara.
21. Republik Indonesia. 2012. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM. 60 TAHUN 2012. *Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*, Jakarta : Sekretariat Negara.