

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KESTABILAN KECEPATAN DAYA ANGKAT DAN DAYA GESER PADA CRANE MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY

DESIGN AND IMPLEMENTATION POWER LIFT STABILITY AND SLIDE MOVEMENT SPEED ON CRANE USING FUZZY LOGIC

Rahmad Hidayat¹, M. Sarwoko, Ir., M.Sc², Unang Sunarya, ST., MT³

Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹rhmd.hdyt09@gmail.com²msarwoko@yahoo.com³unangsunarya@telkomuniversity.com

Abstrak

Perkembangan teknologi elektronika yang cepat seperti sekarang ini, membuat segala kegiatan manusia bisa dipermudah dengan membuat suatu sistem yang dapat mengerjakan melakukan beberapa kegiatan sekaligus. Contohnya seperti sistem yang mampu mengangkat lalu memindahkan benda dari suatu tempat ketempat lain, yang biasa disebut sistem alat berat atau crane. Crane adalah alat pengangkat dan pemindah material yang pada umumnya digerakan oleh motor listrik, motor listrik sendiri adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada crane keluaran motor listrik biasanya tidak stabil dikarenakan beban yang di angkat tiap waktu berbeda-beda, kecepatan motor yang tidak stabil bisa berakibat kurangnya efisiensi waktu dan membuat orang yang menggunakan crane merasa tidak nyaman. Dan hal inilah yang mendasari penggunaan logika fuzzy demi menciptakan kestabilan sebuah sistem.

Pada tugas akhir ini penulis telah merealisasikan model crane yang bekerja secara otomatis sesuai dengan beban yang akan diberikan. Pada sistem ini telah dirancang sebuah sensor kecepatan yang dapat membaca putaran motor secara spesifik dengan peletakkan yang disesuaikan. Pada bagian penggerak digunakan dua buah motor servo untuk permodelan pada sistem ini. Untuk mendapatkan pengontrolan yang sesuai digunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dan metode Interpolasi, *Fuzzy Logic* dipakai sebagai keluaran mikrokontroler berdasarkan masukan sensor kecepatan. Diharapkan melalui metode ini didapatkan sebuah sistem yang lebih stabil. Sedangkan, Interpolasi dipakai untuk pengontrolan sensor posisi yang akan menentukan titik sudut servo.

Dalam perancangan alat ini, pengontrolan gerak motor telah menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* dan metode *Interpolasi*. Pada metode logika fuzzy dan intrpolasi ini didapatkan bahwa motor dapat diatur sesuai dengan pembacaan dari masukan sensor kecepatan dan sensor posisi. Walaupun gerak motor masih belum maksimal, namun secara keseluruhan sistem sudah cukup stabil dengan ditampilkannya sinyal PWM sebagai acuan. Hasil yang didapatkan pada perancangan alat ini adalah, pada daya angkat hasil *duty cycle* pada PWM didapatkan nilai sebagai berikut, yaitu 0gr = 7,5%, 10gr = 8,5%, 20gr = 9,5%, 30gr = 10,5%, 40gr = 11%, dan 50gr = 12,5%. Sedangkan pada daya geser hasil *duty cycle* pada PWM didapatkan nilai sebagai berikut, yaitu pada sudut $0^\circ = 2,5\%$, $36^\circ = 4,5\%$, $108^\circ = 6,5\%$, $144^\circ = 10,5\%$, dan $180^\circ = 12,5\%$.

Kata kunci : Crane, Fuzzy Logic, Interpolasi, Motor Servo, Sensor Kecepatan.

Abstract

Rapid developments of technology nowadays makes all human's activity could be ease with a system that could do several task at once. For example is the crane, which serve as a system that could lift and replace things, also known as heavy equipment system Crane is equipment which uses electrical motor that can lift and replace things, while electrical motor is a toll that converts electrical energy into mechanical energy. Due to changing weight that cranes have to lift, crane's electrical motor usually gives unstable output, this could cause loss of efficiency and discomfort to the user because the motor have an unstable speed. That condition based the use of fuzzy logic to make a stabilized system.

In this final project, author has already made a crane model that works automatically according to given weigh. A speed sensor that could detect a specific motor rotation with an adapted placement is designed in this system. Actuators in this system model are two servo motors. To get a control system that meets the Fuzzy Logic Controller and Interpolation methods, fuzzy logic serve as an output from the speed sensor input a stabilized system is expected from this method. While, interpolation is used to control a position sensor will determine the servo angle.

In this tool design, motor movement is controlled by Fuzzy Logic Controller and Interpolation methods. In the fuzzy logic method, it's found that the motor could be controlled from the speed sensor and potition sensor input. Even though motor's movement hasn't been at its full capacity, the overall system is already stabilized enough with the displayed PWM as reference. The results obtained in the design of this tool is, to lift the duty cycle of the PWM results obtained value as follows, that is 0gr = 7.5% = 8.5% 10gr, 20gr = 9.5% = 10.5% 30gr, 40gr = 11%, and 50gr = 12.5%. While in power sliding on the PWM duty cycle results obtained the following values, that is the angle $0^\circ = 2.5\%$, $36^\circ = 4.5\%$, $108^\circ = 6.5\%$, $144^\circ = 10.5\%$, and $180^\circ = 12, 5\%$.

Keywords : Crane, Fuzzy Logic, Interpolation, Servo Motor, Speed Sensor.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang cepat seperti sekarang ini, membuat segala kegiatan manusia bisa dipermudah dengan dibuatnya suatu sistem. Sistem yang dimaksud adalah sistem yang dapat membantu manusia melakukan kegiatan tersebut. Seperti sistem yang mampu memindahkan benda dari suatu tempat ke tempat lain, contohnya sistem alat berat atau *crane*. *Crane* adalah alat pengangkat dan pemindah material yang bekerja berdasarkan prinsip kerja tali, *crane* digunakan untuk mengangkat muatan secara *vertical* dan gerak secara *horizontal* yang bergerak secara bersama dan menurunkan muatan ke tempat yang dituju. *Crane* pada umumnya digerakan oleh motor listrik, motor listrik sendiri adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Dalam tugas akhir ini penulis akan membuat suatu perangkat kestabilan kecepatan daya angkat dengan menggunakan metode logika *fuzzy* dan daya geser dititik beratkan pada posisi dengan menggunakan interpolasi.

2. Dasar Teori

2.1 Crane

Crane adalah alat pengangkat dan pemindah material yang bekerja dengan prinsip kerja tali yang digerakan oleh motor.



Gambar 2. 1 Prototype Crane

2.2 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* kedalam suatu ruang *output*. Dimana Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki objek-objek dari himpunan *fuzzy* yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*, dan bukan dalam bentuk logika benar (*true*) atau salah (*false*), tapi dinyatakan dalam derajat (*degree*). Konsep seperti ini disebut dengan *Fuzziness* dan teorinya dinamakan *Fuzzy Set Theory*. *Fuzziness* dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri. Seringkali ditemui dalam pernyataan yang dibuat oleh seseorang, evaluasi dan suatu pengambilan keputusan.

Logika *fuzzy* telah digunakan pada bidang-bidang seperti taksonomi, topologi, linguistik, teori automata, teori pengendalian, psikologi, pattern recognition, pengobatan, hukum, *decision analysis*, *system theory and information retrieval*. Pendekatan *fuzzy* memiliki kelebihan pada hasil yang terkait dengan sifat kognitif manusia, khususnya pada situasi yang melibatkan pembentukan konsep, pengenalan pola, dan pengambilan keputusan dalam lingkungan yang tidak pasti atau tidak jelas.

2.2.2 Sistem Berbasis Aturan Logika Fuzzy

Suatu sistem berbasis aturan logika *fuzzy* yang lengkap terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Fuzzification*, *Inference*, dan *Defuzzification*. *Fuzzification* mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) ke dalam bentuk *fuzzy input*, yang berupa nilai linguistik yang semantiknya ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan tertentu. *Inference* melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Sedangkan *Defuzzification* mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp value* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.

2.3 Mikrokontroler

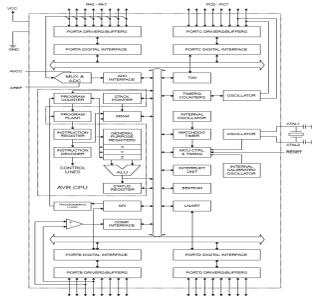
Mikrokontroler adalah sebuah prosesor yang berfungsi untuk mengontrol suatu benda supaya bisa bekerja sebagaimana mestinya. Mikrokontroler memiliki memori yang berguna untuk menyimpan program yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan keinginan programmer. Mikrokontroler menjadi otak dari alat-alat lainnya.

2.3.1 Mikronkotroller ATmega16

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR ATmega16. AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instuction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keluarga AT90Sxx, ATMega dan ATTiny.

2.3.2 Arsitektur Mikronkotroller ATmega16

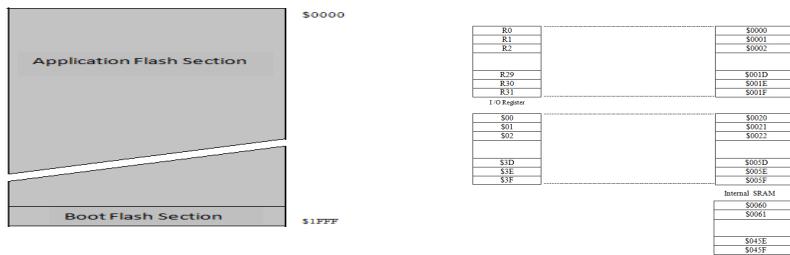
Mikrokontroler ini menggunakan arsitektur Harvard yang memisahkan memori program dari memori data, baik bus alamat maupun bus data, sehingga pengaksesan program dan data dapat dilakukan secara bersamaan (*concurrent*).



Gambar 2.7 Blok Diagram ATmega16

2.3.3 Peta Memori Mikronkotrroller ATmega16

Arsitektur AVR mempunyai dua memori utama, yaitu memory data dan memori program. Untuk penyimpanan data program, ATmega 16 memiliki memori EEPROM sebesar 512 Byte. Selain itu, ATmega 16 terdiri dari 16 Kbyte *Onchip In-System Reprogrammable Flash Memory* untuk menyimpan program.



Gambar 2.8 Peta Memori ATmega16 Gambar 2.9 Konfigurasi Memori Data ATmega16

AVR ATmega16 mempunyai memori data yang terdiri dari tiga bagian, yaitu 32 register umum, 64 register I/O dan 1 Kbyte SRAM internal

2.3.4 Sistem Minimum Mikronkotrroller ATmega16

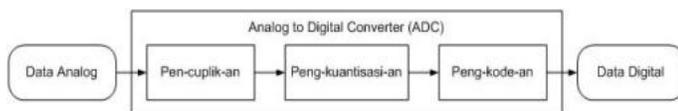
Sistem minimum adalah penerapan mikroprosesor pada suatu rangkaian digital, dengan komponen minimal sehingga sistem mikroprosesor dapat bekerja. Sistem minimum merupakan rangkaian digital dengan konfigurasi minimal (menggunakan komponen paling sedikit), yang dapat membuat IC mikrokontroler dapat digunakan sebagai sistem mikroprosesor.

Sistem minimum mikrokontroler Atmega 16 adalah rangkaian elektronik minimum yang diperlukan untuk beroperasinya IC mikrokontroler. Sistem minimum ini kemudian bisa dihubungkan dengan rangkaian lain untuk menjalankan fungsi tertentu.

2.3.5 ADC (Analog to DC Converter)

ADC = *Analog to Digital Converter* adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). Proses yang terjadi dalam ADC adalah sebagai berikut :

1. Pen-cuplik-an
2. Peng-kuantisasi-an
3. Peng-kode-an



Gambar 2. 10 Proses Pengolahan Analog Menjadi Digital

2.4 PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah metode yang cukup efektif untuk mengendalikan kecepatan motor DC. PWM ini bekerja dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa *high* terhadap pulsa *low* yang telah tertentu, biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%. Gelombang persegi ini memiliki *frekuensi* tetap (biasanya max 10 KHz) namun lebar pulsa *high* dan *low* dalam 1 periode yang akan diatur. Perbandingan pulsa *high* terhadap *low* ini akan menentukan jumlah daya yang diberikan ke motor DC.

Cara kerja PWM yaitu dengan mengubah lebar pulsa *output* pin *high* dan *low* secara cepat dan berulang-ulang. Dengan bervariasinya perubahan lebar pulsa, hasilnya adalah rata-rata *output* pin tersebut.

2.4.1 Perhitungan Duty Cycle

Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat duty cycle.

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan 100%. Jika tegangan 24 V, maka motor akan mendapat tegangan 24 V. Pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada.

2.5 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor.



Gambar 2. 11 Motor Servo

2.5.1 Jenis Motor Servo

- **Motor Servo Standar**

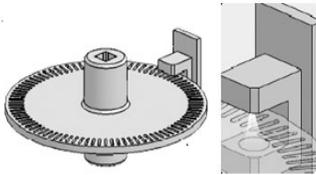
Jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros outputnya terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180°.

- **Motor Servo Continous**

Jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standard, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

2.6 Sensor Kecepatan dan Posisi

Dalam tugas akhir ini digunakan dua sensor, yaitu sensor kecepatan (*Rotary Encoder*) dan sensor posisi (Potensio). *Rotary encoder* digunakan untuk sensor kecepatan gerak secara *vertical*, sedangkan potensio digunakan sebagai sensor posisi yang mengatur posisi pada gerak *horizontal*.



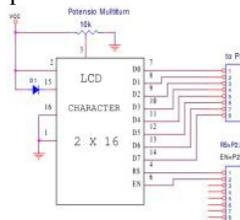
Gambar 2. 12 Rotary Encoder



Gambar 2. 13 Potensiometer

2.7 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Crystal Display (LCD) dapat dengan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler seperti ATmega16. Sesuai standarisasi yang cukup terkenal digunakan banyak vendor LCD, yaitu HD44780, yang memiliki *chip* kontroler. Hitachi 44780, LCD bertipe ini memungkinkan pemogram untuk 21 mengoperasikan komunikasi data secara 8 bit atau 4 bit. Berikut adalah rangkaian interface LCD dan susunan umum kaki LCD bertipe HD44780.



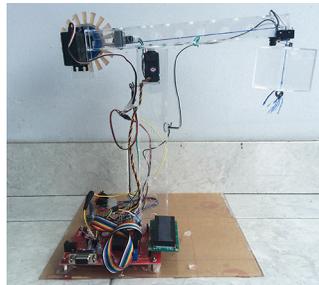
Gambar 2. 14 Skematik Rangkaian Interface LCD

2.8 Interpolasi

Interpolasi adalah teknik mencari harga suatu fungsi pada suatu titik diantara 2 titik yang nilai fungsi pada ke-2 titik tersebut sudah diketahui. Cara menentukan harga fungsi f dititik $x^* \in [x_0, x_n]$ dengan menggunakan informasi dari seluruh atau sebagian titik-titik yang diketahui (x_0, x_1, \dots, x_n).

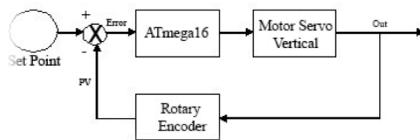
3. PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM

3.1 Model Sistem

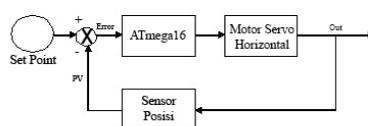


Gambar 3.1 Model Sistem

Dari gambaran pemodelan realisasi alat dibuat dengan tinggi alat 10 cm dan lebar 11 cm dapat dibentuk sebuah diagram blok sistem yang disusun sesuai dengan penggambaran sistem.



Gambar 3.1 Blok Diagram Vertical



Gambar 3.3 Blok Diagram Horizontal

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

3.3.1 Perancangan Logika Fuzzy

Dalam tugas akhir ini logika fuzzy difungsikan sebagai pengontrol kecepatan pada putaran motor servo. Untuk merancang program logika fuzzy yang akan dimasukkan ke dalam mikrokontroler, maka akan dirancang terlebih dahulu blok diagram logika fuzzy yang akan diimplementasikan pada mikrokontroler. Blok diagram logika fuzzy dari sistem yang dirancang dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini:



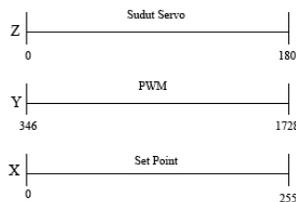
Gambar 3. 2 Blok Diagram Logika Fuzzy

3.3.2 Perancangan Program PWM

CodeWizardAVR adalah aplikasi yang digunakan untuk perancangan program PWM. Pada pemanggilan chip pilih ATmega16 lalu clock dapat diset pada 11.059200Mhz. Kemudian untuk pemrograman timer dalam sistem yang dibuat pada tugas akhir ini clock source di system clock, clock value di 1382.400 Khz, mode di Ph.correct PWM top=ICR1, out.A di non.inv, outB di non.inv.

3.3.3 Perancangan Interpolasi

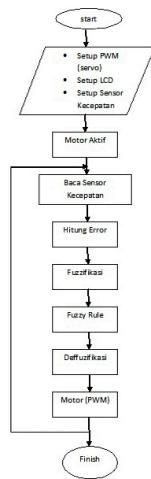
Dalam tugas akhir ini interpolasi digunakan untuk menentukan posisi pada daya geser *horizontal*. Titik sudut pemberhentian motor servo dapat ditentukan dengan penghitungan interpolasi. Interpolasi sudut motor servo dapat ditentukan dengan penghitungan dari set point dan PWM yang saling berhubungan.



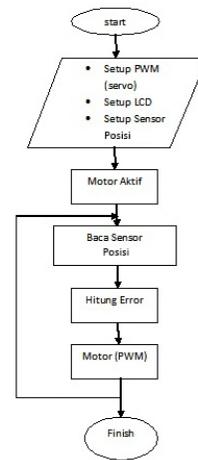
Gambar 3.5 Interpolasi Set Point, PWM, dan Sudut Servo

3.3.4 Perancangan Flowchart

Flowchart alur kerja sistem dibuat untuk memudahkan proses pemrograman mikrokontroler yang berfungsi sebagai otak pengontrolan sistem. Berikut adalah gambar *flowchart* kerja sistem untuk gerak *vertical* dan *horizontal* pada tugas akhir ini:



Gambar 3.6 Flowchart sistem vertical



Gambar 3.7 Flowchart sistem horizontal

3.5 Perancangan Perangkat Keras

Pada sistem ini dirancang beberapa perangkat keras antara lain sistem minimum ATmega16, Rangkaian LCD, Sensor Kecepatan, Motor Servo, Limit Switch, serta prototipe alat.

3.5.1 Sistem Motor Servo

Perancangan sistem motor servo pada tugas akhir ini menggunakan motor servo standar untuk daya geser dan continuous untuk daya angkat. Pemilihan motor servo continuous pada sistem ini adalah agar motor servo dapat diletakkan sensor kecepatan yang berfungsi untuk mendapatkan nilai kecepatan putaran PWM pada motor. Adapun keunggulan dari motor servo continuous yaitu dapat berputar satu putaran penuh.

3.5.2 Perancangan Sistem Minimum ATmega16

Rangkaian sistem minimum mikrokontroler adalah rangkaian yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal PWM, juga sebagai pusat pengontrolan kerja sistem dan mengolah data dari hasil pembacaan sensor kecepatan. Berikut

3.5.3 Catudaya

Catudaya yang digunakan berupa adaptor dengan input AC 100-240V dan output 12V DC 1 A.

3.5.4 Perancangan Sensor Kecepatan dan Posisi

Pada perancangan ini akan dijelaskan pemasangan sensor kecepatan (*rotary encoder*) dan sensor posisi (*potensiometer*). Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada sub bab selanjutnya.

3.5.4.1 Perancangan Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan dipasang di putaran roda motor servo *vertical* untuk membaca nilai PWM. Fungsi sensor kecepatan yang menggunakan infrared untuk mendapatkan putaran kecepatan pada bentuk roda sensor. Pembacaan pada sensor berfungsi sebagai *feedback* untuk menyesuaikan dengan nilai *input* atau masukan pada program, sehingga putaran pada motor servo dapat diatur.

3.5.4.2 Perancangan Sensor Posisi

Sensor posisi digunakan sebagai set point (posisi) untuk motor servo *horizontal*. Dimana nilai set point dimasukan kedalam ADC 8bit yang akan dilakukan proses interpolasi dengan nilai PWM untuk mendapatkan nilai sudut servo. Fungsi dari sensor posisi adalah untuk mengatur titik posisi perputaran dan pemberhentian kerja motor pada posisi yang diinginkan.

3.5.5 Perancangan Liquid Crystal Display (LCD)

Pada perancangan ini rangkaian LCD akan dihubungkan dengan port C.0 sampai dengan port C.8.

4. Hasil dan Analisa

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega16

Tujuan dari pengujian sistem minimum mikrokontroler ATmega16 ini adalah untuk mengetahui apakah sistem sudah dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang semestinya.

4.1.1.2 Cara Pengujian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega16

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan logika 1 (keluaran 5V) pada setiap port, yakni port A, port B, port C, dan port D. Setiap port dihubungkan dengan multimeter untuk mengetahui apakah masing-masing kaki dapat bekerja dengan baik.

4.1.2 Pengujian Rangkaian LCD

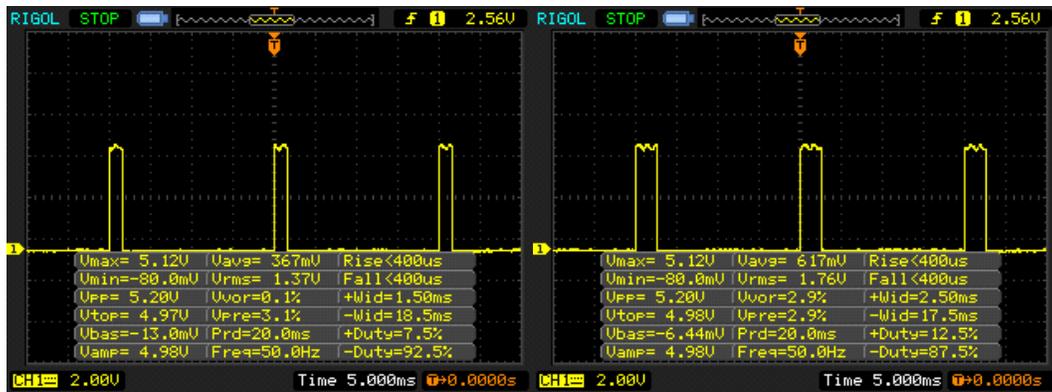
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui keberhasilan dari rangkaian LCD yang sudah dibuat, ukuran LCD yang digunakan adalah 16x2.

4.2 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak ini akan dilakukan pada logika fuzzy. Selanjutnya akan dilihat hasilnya berupa bentuk keluaran sinyal PWM pada osiloskop.

4.2.1. Pengujian Vertical

Pada pengujian sinyal pembangkit PWM (*pulse Width Modulation*) dari mikrokontroler penulis menggunakan *frekuensi* sebesar 50 Hz. Bentuk keluaran gelombang sinyal PWM pada osiloskop ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 4.2. 1 PWM 7,5

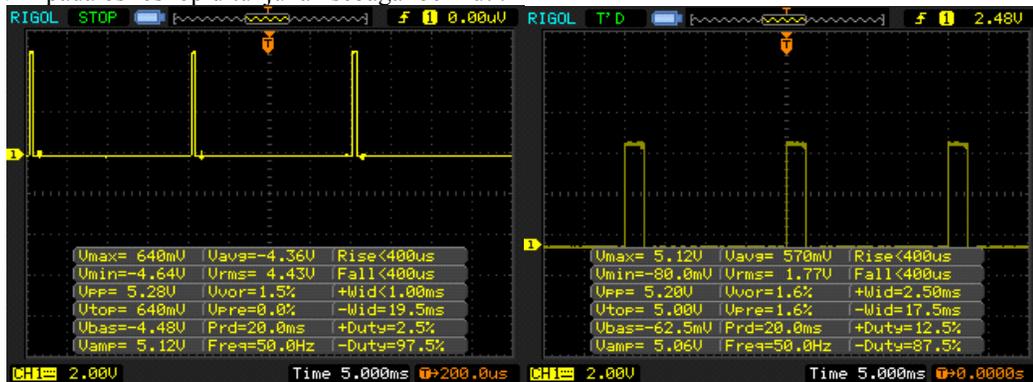
Gambar 4.2. 2 PWM 12,5%

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Akhir

No	Beban	Rpm	Duty Cycle	PWM
1	0	29	7,5%	1080
2	10	29	8,5%	1175,04
3	20	29	9,5%	1313,28
4	30	29	10,5%	1451,52
6	40	29	11,5%	1520,64
7	50	29	12,5%	1728

4.2.2. Pengujian Horizontal

Pada pengujian horizontal akan dilihat apakah hasil keluaran PWM pada osiloskop sudah sesuai dengan semestinya dan sistem sudah bekerja dengan baik. Bentuk keluaran gelombang sinyal PWM pada osiloskop ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 4.3. 1 PWM 2,5%

Gambar 4.3. 6 PWM 12,5%

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Akhir Horizontal

No	Set Point	PWM	Sudut Servo	Duty Cycle
1	0	346	0°	2,5%
2	51	622,4	36°	4,5%
3	102	898	71,8°	6,5%
4	153	1175	108°	8,5%
5	204	1451	144°	10,5%
6	255	1728	180°	12,5%

5. Kesimpulan dan Saran

3.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada perancangan sistem pengontrolan kecepatan dan pengontrolan posisi pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengontrolan kecepatan daya angkat pada motor servo *vertical* dapat bekerja sesuai hasil yang diinginkan dengan menggunakan metode pengontrolan logika fuzzy. Logika Fuzzy membantu sistem dalam mengukur dan menggabungkan sensor kecepatan untuk mencapai set point yang diinginkan sehingga sistem dapat bekerja dengan baik dalam mengontrol kecepatan motor servo walaupun masih harus banyak perbaikan pada Tugas Akhir selanjutnya.
2. Pengontrolan posisi daya geser pada motor servo *horizontal* dapat bekerja sesuai hasil yang diinginkan dengan menggunakan interpolasi.
3. Sensor kecepatan dan sensor posisi dengan sistem pada motor servo dapat berfungsi dengan baik, sehingga hasil data-data pembacaan tiap sistem yang ditampilkan di layar LCD dari prototipe *crane* yang dibuat pada tugas akhir ini.
4. Penambahan penghitungan pada PWM terjadi karena putaran pada motor servo, sehingga sulit mendapatkan putaran motor servo yang benar-benar stabil.
5. Hasil duty cycle pada PWM gerak *vertical* didapatkan nilai sebagai berikut, yaitu 0gr = 7,5%, 10gr = 8,5%, 20gr = 9,5%, 30gr = 10,5%, 40gr = 11%, dan 50gr = 12,5%.
6. Hasil duty cycle pada PWM gerak *horizontal* didapatkan nilai sebagai berikut, yaitu pada sudut $0^\circ = 2,5\%$, $36^\circ = 4,5\%$, $108^\circ = 6,5\%$, $144^\circ = 10,5\%$, dan $180^\circ = 12,5\%$.

5.2 Saran

Saran untuk penulis selanjutnya untuk menyempurnakan tugas akhir ini antara lain:

1. Gerak *horizontal* atau daya geser diimplementasikan dengan kecepatan yang stabil.
2. Motor servo yang digunakan dengan torsi yang lebih besar agar beban yang diangkat bisa lebih besar.
3. Perbaikan pada pengontrolan kecepatan motor servo agar bisa menghasilkan kecepatan yang lebih stabil.
4. Mengontrol kecepatan turun agar bisa diimplementasikan dengan kecepatan yang stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. <http://www.aliexpress.com/item/siku-1899-liebherr-Tower-slewing-crane-1-87-alloy-car-model-toy/2036102345.html?s=p>
- [2]. Pratikto, Diyan. 2013. Perancangan Pengaturan Pengereng Tangan Berbasis *Fuzzy Logic* Menggunakan Mikrokontroler. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [3]. Samsul Aripin, Jejen. 2014. *Design and Implementation Wall Follower and Mobile Robot User Fuzzy Logic Base Microcontroller*. Bandung : Universitas Pasundan.
- [4]. Widodo, Budiharto. 2008. Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16, PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
- [5]. Winoto, A. 2008. Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR.
- [6]. <http://depokinstruments.com/2011/07/20/adc-analog-to-digital-converter/>
- [7]. Prasetya, Andi. 2014. Rancang Bangun Kestabilan Daya Angkat Pada Sistem Alat Berat Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler. Bandung : Telkom University.
- [8]. <http://aryapitaka.blogspot.com/2014/03/aplikasi-potensiometer-sebagai-sensor.html>
- [9]. <http://instrumenhouse.blogspot.com/2013/04/prinsip-kerja-potensiometer.html>
- [10]. Setiadi, Budi. Interpolasi. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- [11]. Naba, Agus Eng Dr. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta : ANDI.
- [12]. Aditiayuda, Brian. 2013. Perancangan dan Pengendalian Kecepatan Putaran Kipas Angin Berbasis Mikrokontroler dengan *DC Chopper*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [13]. Defiyani, Eka. 2012 . Implementasi Papan Pengumpul Energi Tetesan Tenaga Air Hujan Berbasis Piezoelektrik. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [14]. <http://fahmizaleeits.wordpress.com/2010/04/09/tahap-pemodelan-dalam-fuzzy-logic/>
- [15]. <http://roborace.wordpress.com/2011/05/12/sensor-air-hujan/>
- [16]. Heryanto, M.Ary dan Wisnu Adi. “ Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontroler ATmega 8535 “.Yogyakarta : Penerbit Andi.
- [17]. <https://solarbotics.com/product/servo/>
- [18]. Datasheet AVR Microcontroller ATmega16.

