

Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan Fuzzy Logic Controller Pada Ayunan Bayi

Ade Septian Dwisaputra¹, Fajar Yumono², Dian Efytra Yuliana³
^{1,2,3}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kadiri Kediri
Email : adesep935@gmail.com

Abstrak

Sebagian besar bayi terbangun di tengah malam karena perubahan fase tidur dari tidur lelap ke tidur ringan lalu bangun, dan biasanya akan menangis. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat suatu sistem yang dapat mengayunkan bayi ke kiri dan ke kanan seperti pendulum dengan kecepatan yang diatur dengan metode fuzzy logic agar didapatkan pengayunan dengan gerakan perlahan dan stabil. Fuzzifikasi menggunakan metode Min-Max sedangkan pada defuzzifikasi menggunakan metode weighted average dengan metode keluaran menggunakan metode tsukamoto. Hasil dari penelitian ini antara lain pada pengujian tanpa beban didapatkan respon terbaik pada saat tuning set point 60 dengan presentase error sebesar 2,28%. Pada saat tuning set point 50 didapat presentase error sebesar 13,58%. Pada saat pengujian menggunakan beban 3 kg didapatkan respon terbaik pada saat tuning set point 80 dengan presentase error sebesar 3,2%. Sedangkan pada saat tuning set point 70 didapat error sebesar 9,75%.

Kata kunci: Motor DC, Ayunan Bayi, Logika Fuzzy.

Abstract

Most babies wake up in the middle of the night due to a change in the phase of sleep from deep sleep to light sleep and then wake up, and usually cry. To solve this problem, a system is created that can swing the baby left and right like a pendulum at a speed that is regulated by the fuzzy logic method in order to obtain a slow and stable swing. Fuzzification uses the Min-Max method while defuzzification uses the weighted average method with the output method using the Tsukamoto method. The results of this study include the no-load test, the best response was obtained when tuning set point 60 with an error percentage of 2.28%. Whereas at tuning set point 50, the percentage error is 13.58%. When testing using a 3 kg load obtained the best response when tuning set point 80 with a percentage error of 3.2%. While at tuning set point 70 an error of 9.75% was obtained.

Keywords: DC Motor, Baby Swing, Fuzzy Logic.

1. PENDAHULUAN

Bagi para orang tua yang memiliki bayi baru lahir biasanya pada malam hari saat tertidur, mereka terganggu dengan tangisan bayi dan harus menenangkannya. Adapun cara yang dipilih untuk menenangkan bayi adalah tidak mengabaikan kebutuhan rasa aman pada bayi karena kualitas tidur bayi tidak hanya berpengaruh pada perkembangan fisik tapi juga sikapnya keesokan hari. Bayi yang tidur cukup tanpa sering terbangun agar lebih bugar dan tidak gampang rewel. Manfaatnya juga dapat dirasakan oleh orang tuanya. Kualitas tidur orang tua bisa lebih baik jika bayi tertidur pulas sepanjang malam dan tentunya aktifitas dari pagi hingga sore hari pun dijalani dengan lancar.

Sebagian besar bayi terbangun di tengah malam karena perubahan fase tidur dari tidur lelap ke tidur ringan lalu bangun. Ketika terbangun biasanya akan menangis dan biasanya ibu menyusui atau menggendong bayinya. Sebagian besar ibu rumah tangga dan ibu yang bekerja mengharapkan adanya inovasi dengan adanya alat yang dapat mengayun secara halus untuk menjaga agar bayi dapat tidur dengan nyaman. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat suatu sistem yang dapat mengayunkan bayi ke kiri dan ke kanan seperti pendulum. Ayunan bayi yang dapat bekerja secara otomatis sebelumnya juga telah dibahas [1][2][3]

Pada penelitian ini dirancang sebuah ayunan bayi dengan kecepatan yang dapat diatur dengan metode *fuzzy logic* agar didapatkan pengayunan dengan gerakan yang perlahan dan stabil. Logika *fuzzy* merupakan salah satu metode untuk melakukan analisis sistem yang mengandung ketidakpastian [4]. Sistem kendali dengan menerapkan logika *fuzzy* lebih tepat diaplikasikan pada sistem yang tidak linear dan adanya pengaruh dari lingkungan [5] karena termasuk dalam golongan kendali cerdas [6]. Dengan penerapan logika *fuzzy* untuk mengendalikan kecepatan putar motor DC pada ayunan bayi diharapkan diperoleh Gerakan ayunan yang halus dan stabil.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Motor DC

Motor listrik arus searah atau yang disebut dengan Motor DC adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tegangan arus listrik searah (DC, *Direct Current*) untuk diubah menjadi energi Gerakan mekanik [7]. Motor DC dapat dibedakan lagi berdasarkan sumber dayanya sebagai berikut.

- a. Motor DC sumber daya terpisah/*Separately Excited*. Adalah jenis motor DC yang sumber arus medan di-*supply* dari sumber terpisah, sehingga motor listrik DC ini disebut motor DC sumber daya terpisah (*separately excited*).
- b. Motor DC sumber daya sendiri/*Self Excited*. Adalah jenis motor DC yang sumber arus medan di-*supply* dari sumber yang sama dengan kumparan motor listrik, sehingga motor listrik DC ini disebut motor DC sumber daya sendiri (*Self excited*).

Motor DC sumber daya sendiri / *self-excited* ini dibedakan lagi menjadi 3 jenis berdasarkan konfigurasi *supply* medan dengan kumparan motornya sebagai berikut.

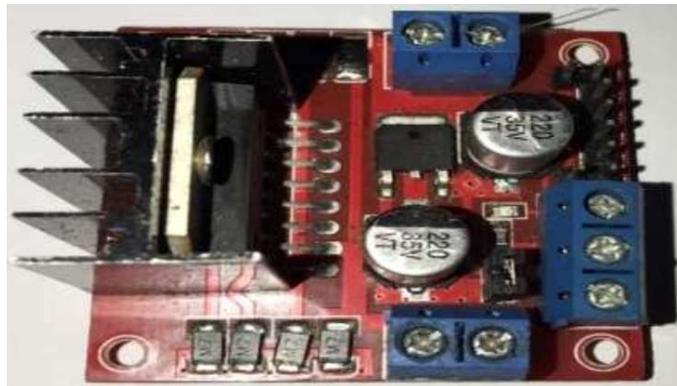
- a. Motor DC *shunt*, Pada motor DC *shunt* gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara parallel dengan gulungan motor listrik. Oleh karena itu

total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus *dynamo*.

- b. Motor DC seri, Pada motor DC seri, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus *dynamo*.
- c. Motor DC Kompon/Gabungan, Motor DC kompon merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor DC kompon, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan motor listrik. Sehingga, motor DC kompon memiliki *torque* penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil.

2.2 Driver motor DC (L298N)

Driver motor DC (L298N) merupakan modul *driver* motor DC berbasis IC L298 *dual H-bridge* [8] yang paling banyak digunakan atau dipakai di dunia elektronika yang difungsikan untuk mengontrol kecepatan serta arah putaran motor DC. Pada IC L298 terdiri dari transistor-transistor logic (TTL) dengan gerbang NAND yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah putaran suatu motor DC atau motor *stepper*. Kelebihan akan modul *driver* motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisian dalam mengontrol motor sehingga motor lebih mudah untuk dikontrol. Modul motor *driver* L298N ditunjukkan oleh gambar 1 sebagai berikut [9].

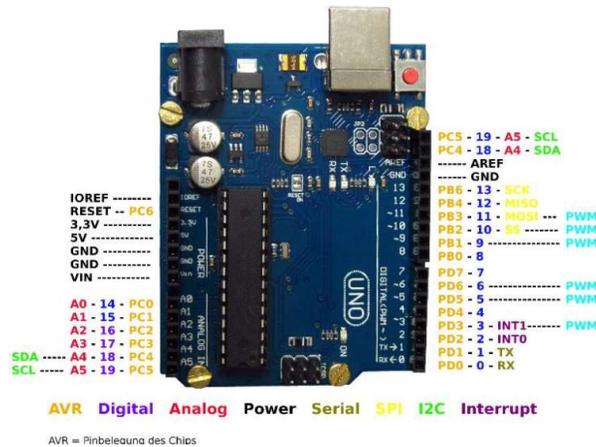


Gambar 1. Motor driver L298N

2.2 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328 [10][11]. Memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol *reset*[12]. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board* Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya.

Uno berbeda dengan semua *board* sebelumnya dalam hal koneksi *USB-to-serial* yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter *USB-to-serial* berbeda dengan *board* sebelumnya yang menggunakan *chip* FTDI *driver* *USB-to-serial*.



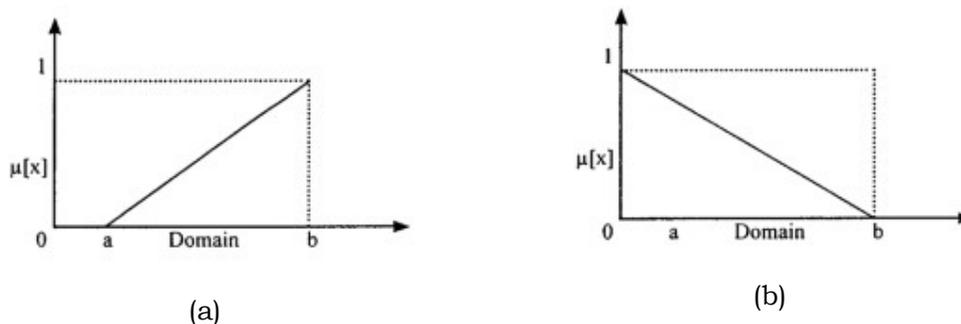
Gambar 2. Arduino Uno [13]

Arduino Uno diprogram dengan menggunakan Bahasa pemrograman C yang dimodifikasi untuk mempermudah pemrograman menggunakan fungsi-fungsi sederhana sehingga pengguna yang masih pemula dapat mempelajarinya dengan cukup mudah. Untuk mempermudah memprogram Arduino dan mengupload ke dalam *board* Arduino diperlukan *software* berupa Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) [14].

2.2 Fuzzy logic

Tujuan utama dalam system pengendali adalah mendapatkan keluaran (*output*) sebagai respon dari masukan (*input*). Dalam kendali dalam cara klasik, biasanya menggunakan rumus matematika yang cukup rumit. Hal ini berbeda dengan kendali *fuzzy* ini berbasis pengetahuan manusia dalam melakukan suatu proses kendali. Konsep matematika dari logika *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti. Logika *fuzzy* melibatkan aturan-aturan yang dinyatakan dengan kata-kata yang tidak melakukan presisi tinggi serta terdapat toleransi untuk data yang kurang tepat [15].

Fungsi keanggotaan merupakan sebuah kurva yang mempresentasikan masukan data ke derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai antara 0 dan 1. Dengan fungsi keanggotaan yang telah dirancang maka nilai-nilai masukan tersebut akan menjadi informasi yang berguna sebagai proses pengolahan selanjutnya. Banyaknya jumlah suatu fungsi *membership* dalam *input fuzzy* menentukan banyaknya basis aturan yang akan dibuat. Representasi linear naik dan turun dari fungsi keanggotaan disajikan oleh Gambar 3 sebagai berikut [16].



Gambar 3. a. Representasi linear naik, b. Representasi linier turun

Fuzzifikasi merupakan suatu tahapan untuk merubah nilai *input* yang berupa variabel *crisp* menjadi bentuk *fuzzy* dengan menentukan nilai derajat keanggotaan terlebih dahulu. Sehingga kemudian *input* dapat dikelompokkan pada himpunan *fuzzy* yang tepat agar masukan *controller fuzzy* bisa dipetakan agar sesuai dengan himpunan *fuzzy*.

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

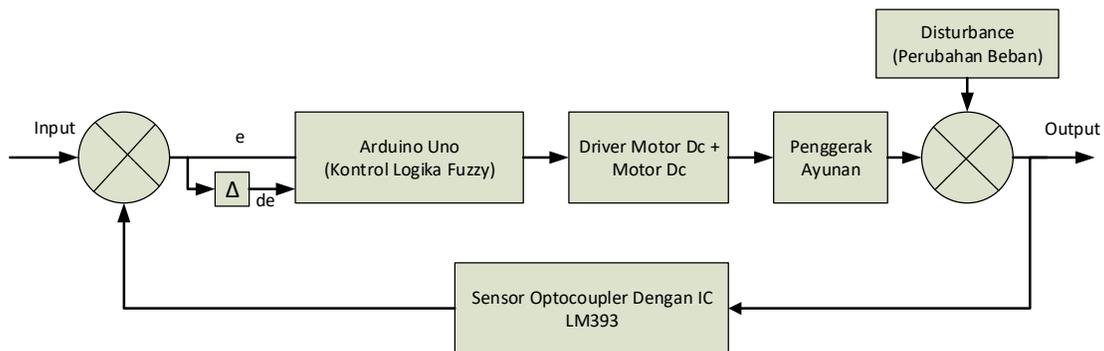
Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran. Inferensi menggunakan metode *Min-Max* aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*.

Defuzzifikasi merupakan proses konversi dari harga-harga *fuzzy* menjadi harga *crisp* [4]. Suatu himpunan *fuzzy* didapat dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan keluaran yang didapatkan merupakan suatu bilangan dalam domain himpunan *fuzzy*, sehingga jika diberikan himpunan *fuzzy* dengan *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai keluaran.

3. METODE

3.1 Diagram Blok Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana. Blok diagram tersebut dapat dilihat dari Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram blok sistem

3.2 Perancangan Alat

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem.

Untuk perancangan perangkat keras meliputi alokasi pin pada Arduino Uno, penempatan motor DC pada ayunan, penempatan sensor *optocoupler* pada ayunan

bayi. Perancangan *software* meliputi perancangan logika *fuzzy* untuk mengendalikan kecepatan putar Motor DC.

Pada papan Arduino Uno alokasi pin yang digunakan disajikan oleh Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Alokasi Pin *input* dan *output* pada Arduino Uno

No.	PIN	Fungsi
1	2	Jalur <i>input</i> dari sensor <i>optocoupler</i>
2	3	Pin <i>output</i> ke MOUT2
3	4	-
4	5	-
5	6	Jalur <i>input</i> PWM
6	7	Pin <i>output</i> ke MOUT1
7	8	Pin <i>output</i> ke MOUT2
8	9	Pin <i>input</i> dari <i>Push button</i> (Tombol Lambat)
9	10	Pin <i>input</i> dari <i>Push button</i> (Tombol Sedang)
10	11	Pin <i>input</i> dari <i>Push button</i> (Tombol Cepat)
11	5 v	Jalur keluaran 5 v
12	Gnd	Jalur keluaran <i>ground</i>

Motor DC pada penelitian ini digunakan untuk menggerakkan ayunan bayi. Pada Motor Dc Terpasang *gear* yang dihubungkan langsung dengan *gear* yang dipasang pada penggerak ayunan bayi. Berikut adalah perancangan pemasangan motor DC pada penggerak ayunan bayi dalam gambar 5.



Gambar 5. Penempatan motor DC pada ayunan bayi

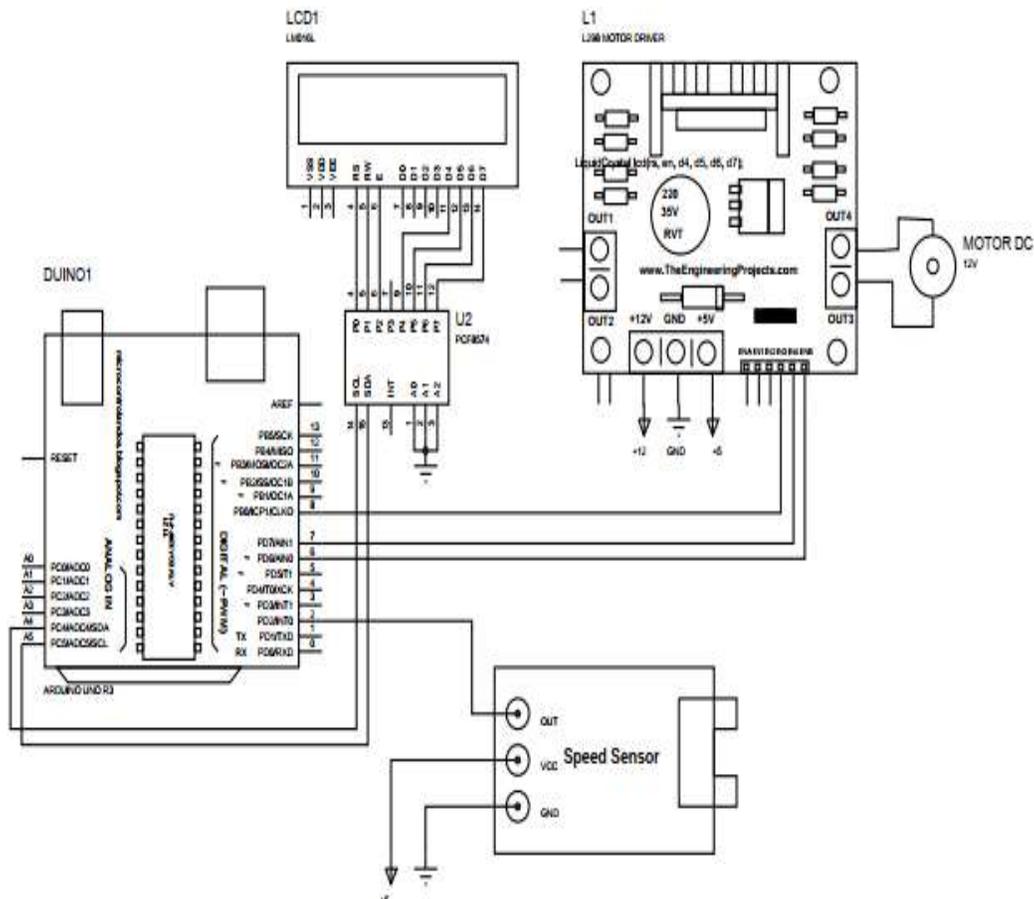
Sensor *Optocoupler* pada penelitian ini digunakan untuk membaca kecepatan putar Motor DC *output* dari sensor *Optocoupler* dihubungkan ke IC LM393 agar dapat dibaca oleh Arduino Uno. Penempatan sensor ini tepat sejajar dengan Motor DC yang diberi piringan dengan 20 lubang pada sumbu motor, jadi setiap

perubahan kecepatan dari motor DC akan ikut mempengaruhi perubahan jumlah pulsa. Pembacaan kecepatan dipengaruhi dari banyaknya pembacaan pulsa oleh LED infra merah yang berada pada *sensing line*. Peletakan sensor *optocoupler* pada mekanik ditunjukkan oleh gambar 6



Gambar 6. Penempatan optocoupler

Rangkaian keseluruhan dari sistem kendali kecepatan putar motor DC pada ayunan bayi ditunjukkan oleh gambar 7 berikut.



Gambar 7. Rangkaian keseluruhan dari sistem kendali kecepatan putar motor DC pada ayunan bayi

Untuk perancangan *software* yaitu perancangan logika *fuzzy* yang terdiri dari Fuzzyfikasi, *Rule base* Logika *Fuzzy*, Defuzzyfikasi. Pada proses fuzzyfikasi ini

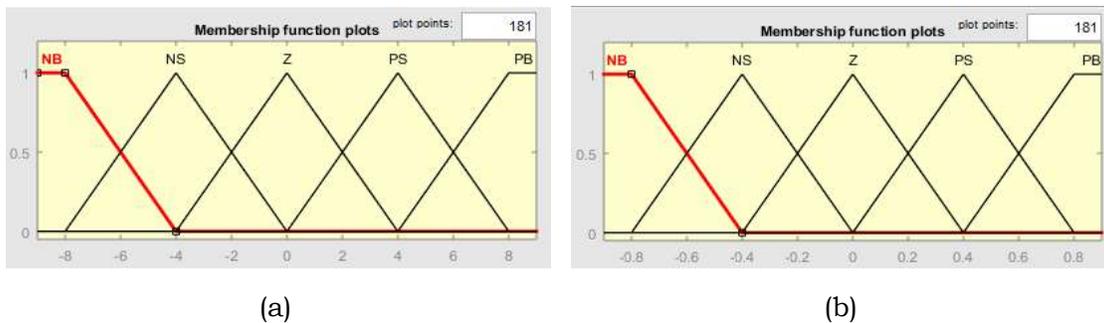
menggunakan metode MIN-MAX dengan memanfaatkan pembacaan data dari sensor kecepatan putaran motor DC (*optocoupler*) yang kemudian diolah menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut.

$$Error(t) = SP - PV(t) \tag{1}$$

Dimana $error(t)$ adalah $error$ pada waktu t , sedangkan SP merupakan nilai *Set Point* (nilai yang diinginkan), $PV(t)$ adalah *Present value* pada waktu t (*Nilai Aktual*). Sedangkan selisih $error$ pada waktu t dihitung menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut.

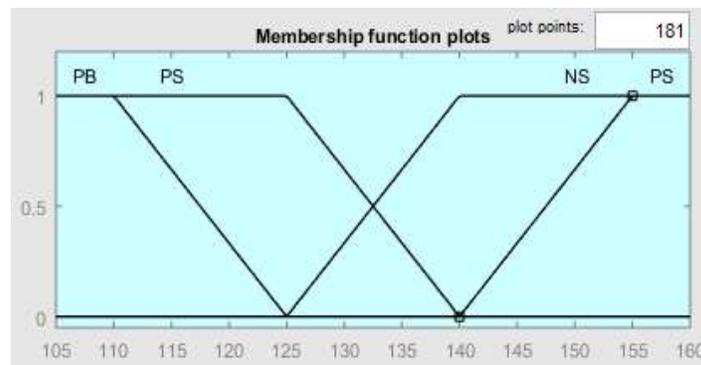
$$\Delta Error(t) = Error(t) - Error(t - 1) \tag{2}$$

Dimana $error(t-1)$ adalah $error$ pada waktu $t-1$. Dari persamaan 1 dan persamaan 2 diatas diperoleh nilai $Error$ dan $\Delta Error$ yang digunakan sebagai himpunan masukan *fuzzy*. Himpunan masukan logika *fuzzy* ditampilkan dalam gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. a. Himpunan fuzzy masukan error, b. Himpunan fuzzy masukan delta error

Fungsi keanggotaan pada himpunan keluaran logika *fuzzy* yang dipakai dalam penelitian ini merupakan representasi hasil dari keputusan dalam bentuk variasi nilai PWM menggunakan metode *Tsukamoto* yang memiliki nilai monoton. Fungsi keanggotaan tersebut digambarkan oleh gambar 5 sebagai berikut.



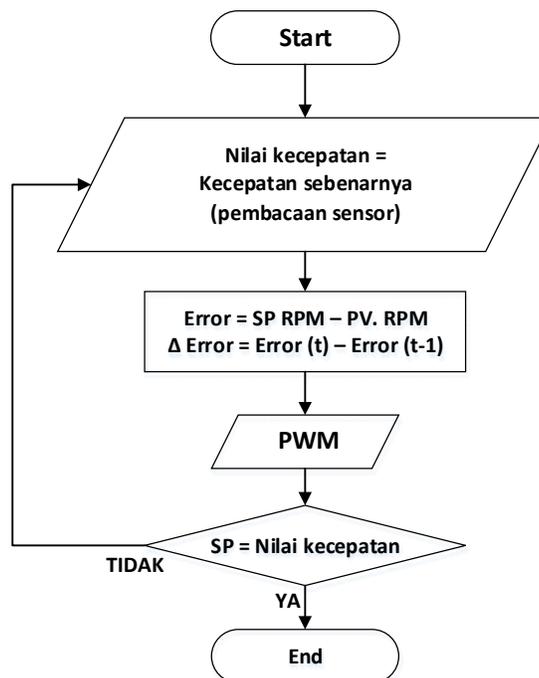
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Keluaran Menggunakan Metode Tsukamoto

Rule (aturan) *fuzzy* digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi, dengan jumlah *rule* 25 macam. *Rule* tersebut didapat dari 5 *membership function error* dan 5 *membership function delta error*. Fungsi keanggotaan dari *error* dan *delta error* yang terdiri dari lima label yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Big* (PB)

Tabel 2. Aturan *fuzzy*

Δe \ e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	PS
NS	PB	PB	PS	NS	NS
Z	PB	PS	PB	NS	NB
PS	PS	PS	PB	NB	NB
PB	PS	NS	PB	NB	NB

Setelah menetapkan aturan *fuzzy* dilakukan inferensi [17], dimana dalam penelitian ini menggunakan inferensi *Min-Max*. Diagram alir perangkat lunak dalam pengendalian kecepatan motor DC pada ayunan bayi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Keluaran Menggunakan Metode Tsukamoto

Dari diagram alir yang disajikan oleh gambar 6 diatas, Ketika motor DC berjalan, sensor kecepatan membaca kecepatan putaran motor DC. Data kecepatan putaran motor DC tersebut diolah menggunakan logika *fuzzy* menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 sehingga menghasilkan keluaran berupa nilai pulsa PWM dan dibandingkan apakah nilainya sama dengan nilai *set point* yang ditentukan. Jika nilainya tidak sama dengan nilai *set point* proses kembali ke pembacaan kecepatan putaran motor DC. Jika nilainya PWM sama dengan nilai PWM, maka kecepatan putar motor DC tetap.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila tidak alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

4.1 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan data keluaran dari sensor dengan hasil perhitungan. Berikut hasil pengujian sensor yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil perbandingan nilai pembacaan sensor kecepatan dan praktek

No.	PWM	Pembacaan kecepatan putaran Motor DC (RPM)	
		Pembacaan oleh sensor	Hasil perhitungan
1	20	15,36	13
2	40	22,65	20
3	60	30,76	28
4	80	38,97	35
5	100	43,76	41
6	120	48,84	46
7	140	55,57	53
8	160	62,76	60
9	180	68,32	66
10	200	75,68	74
11	220	84,87	82
12	240	93,54	91
13	255	101,65	100

4.2 Pengujian Driver Motor DC

Pengujian *driver* motor DC ini bertujuan untuk mengetahui *output driver* motor yang dibandingkan dengan masukannya yang kemudian dapat diketahui juga hubungan keluaran PWM dengan tegangan yang dibutuhkan untuk motor DC. Tabel berikut ini adalah hasil pengujian tegangan *driver* motor L298N untuk setiap interval PWM yang diberikan.

Tabel 3. Hasil perbandingan nilai pembacaan sensor kecepatan dan praktek

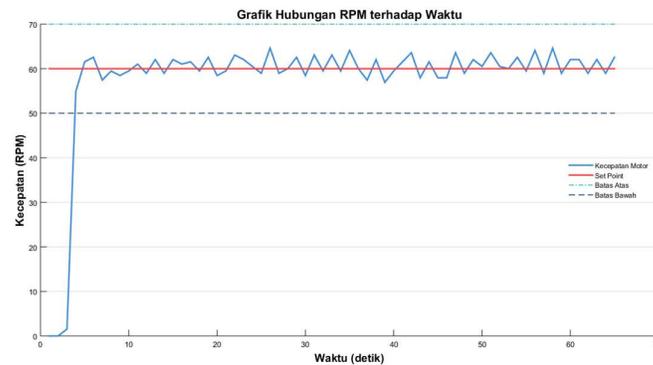
No.	PWM	Tegangan Keluaran <i>Driver</i> Motor DC (V)
1	10	1,74
2	20	2,24
3	30	2,70
4	40	3,16
5	50	3,65
6	60	4,13
7	70	4,60
8	80	5,05
9	90	5,55
10	100	6,02
11	110	6,49
12	120	6,98
13	130	7,44
14	140	7,93
15	150	8,10
16	160	8,34
17	170	8,93
18	180	9,23
19	190	9,97
20	200	10,37
21	210	10,98
22	220	11,46
23	230	11,73
24	240	11,98
25	250	12,14

Hasil pengujian *driver* motor L298N dapat disimpulkan bahwa semakin besar sinyal PWM yang diberikan, maka tegangan yang masuk ke motor DC akan semakin besar. Dari data tersebut terbukti bahwa putaran motor menjadi semakin cepat.

4.2 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui kerja dari perangkat keras dan perangkat lunak setelah diintegrasikan dalam sebuah sistem terpadu. Pengujian sistem meliputi pengujian ayunan tanpa beban dan pengujian ayunan dengan beban.

Pada pengujian ayunan tanpa beban dilakukan dengan *tunning* PWM yang berbeda untuk setiap nilai keluaran NB, NS, PS, dan PB. Hasil *tunning* PWM pada *set point* 60 dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.

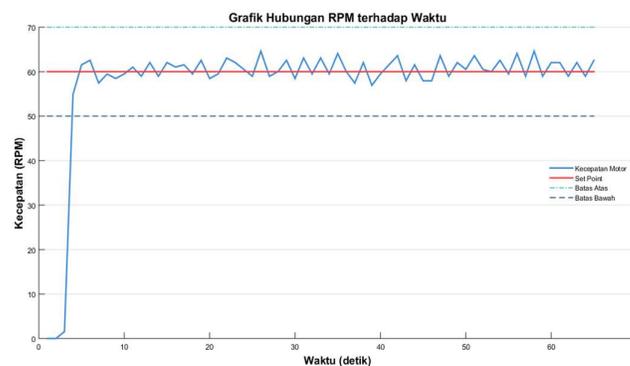


Gambar 7. Grafik respon sistem keseluruhan tanpa beban untuk *tuning set point* 60

Grafik respon keluaran pada gambar 7 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS, dan PB berturut turut 155, 140, 125, dan 110. Respon yang dihasilkan dengan presentase *error* sebesar = 2,28 % yang diperoleh dari perhitungan dibawah ini.

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \frac{\text{Average Speed Steady} - \text{Set Point}}{\text{Set Point}} \times 100\% \\ &= \frac{61,37 - 60}{60} \times 100\% \\ &= 2,28\% \end{aligned}$$

Pada pengujian ayunan dengan beban sebesar 3 Kg dilakukan dengan *tunning* PWM yang berbeda untuk setiap nilai keluaran NB, NS, PS, dan PB. Hasil *tunning* PWM pada *set point* 80 dapat dilihat pada gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. Grafik respon sistem keseluruhan dengan beban 3 kg untuk *tuning set point* 80

Grafik respon keluaran pada gambar 7 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS, dan PB berturut turut 170, 160, 150, dan 140. Respon yang dihasilkan dengan presentase *error* sebesar = 3,2 % yang diperoleh dari perhitungan dibawah ini.

$$\begin{aligned}\% \text{ error} &= \frac{\text{Average Speed Steady} - \text{Set Point}}{\text{Set Point}} \times 100\% \\ &= \frac{77,44 - 80}{80} \times 100\% \\ &= 3,2\%\end{aligned}$$

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian kecepatan, maka diambil kesimpulan bahwa kendali logika *fuzzy* dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC pada penggerak ayunan bayi dengan metode pada fuzzifikasi adalah metode *Min-Max* sedangkan pada defuzzifikasi menggunakan metode *Tsukamoto*, menggunakan 5 *membership function* pada *error* dan *delta error*. *Input fuzzy* berupa selisih nilai dari *set point* dengan kecepatan yang dibaca sensor sebagai *error* dan membandingkan nilai sekarang dan sebelumnya sebagai *delta error*. Jumlah *rule* yang digunakan berjumlah 25 *rule*.

Pada pengujian kontrol kecepatan motor DC pada penggerak ayunan bayi tanpa beban didapatkan respon terbaik pada saat *tunning set point 60* dengan presentase *error* sebesar 2,28%. Sedangkan pada saat *tunning set point 50* didapat presentase *error* sebesar 13,58%. Dan pada saat pengujian kontrol kecepatan motor DC pada penggerak ayunan bayi menggunakan beban 3 kg didapatkan respon terbaik pada saat *tunning set point 80* dengan presentase *error* sebesar 3,2%. Sedangkan pada saat *tunning set point 70* didapat *error* sebesar 9,75%.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. Praty dan E. Mufida, "Alat Ayunan Bayi Otomastis Berbasis Mikrokontroler ATmega1 dengan PIR Motion Detector dan Servo," *Bina Insa. ICT J.*, vol. 3, no. 1, hal. 220–228, 2016.
- [2] S. F. Kinasih dan others, "Pengontrolan Ayunan Bayi Otomatis Dengan Mendeteksi Sensor Suara Menggunakan Mikrokontroler Arduino," *J. Ilm. Ilmu Komput. Fak. Ilmu Komput. Univ. Al Asyariah Mandar*, vol. 4, no. 2, hal. 17–20, 2018.
- [3] A. NILAM SARI, "RANCANG BANGUN ALAT PENGAYUN BAYI MENGGUNAKAN SENSOR SUARA BERBASIS MIKROKONTROLER," Politeknik Negeri Padang, 2017.
- [4] A. Anggun, F. Marisa, dan I. D. Wijaya, "Sistem Penunjang Keputusan Pembelian Smartphone Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto," *JOINTECS (Journal Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [5] N. El Maidah, A. E. Putra, dan R. Pulungan, "Perancangan Perangkat Keras Pengendali Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ATmega32 sebagai Pengendali Suhu dan Kelembaban," 2012.
- [6] M. Yahya dan D. Erwanto, "Design of Temperature and Humidity Control Systems in Quail Puppies Cages Using Fuzzy Logic Method," *JEEE-U (Journal*

- Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, hal. 31–43, 2020.
- [7] A. Andreas, G. Priyandoko, M. Mukhsim, dan S. A. Putra, “Kendali Kecepatan Motor Pompa Air Dc Menggunakan Pid--Csa Berdasarkan Debit Air Berbasis Arduino,” *J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 01, hal. 1–14, 2020.
- [8] A. P. Zanofa, R. Arrahman, M. Bakri, dan A. Budiman, “Pintu Gerbang Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO R3,” *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 1, no. 1, hal. 22–27, 2020.
- [9] E. Ema, H. Hartopo, dan R. Fahlevy, “PEMBUATAN ALAT BANTU VISUAL PADA HELIKOPTER UNTUK MENGETAHUI KONDISI TEMPAT PENDARATAN DARURAT,” *J. Ind. Elektro dan Penerbangan*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [10] H. Guntoro dan Y. Somantri, “Rancang bangun magnetic door lock menggunakan keypad dan solenoid berbasis mikrokontroler arduino uno,” *Electrans*, vol. 12, no. 1, hal. 39–48, 2013.
- [11] D. Erwanto, T. Sugiarto, dan others, “Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things,” *MULTITEK Indones.*, vol. 14, no. 1, hal. 1–12, 2020.
- [12] D. Bawa dan C. Y. Patil, “Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno,” *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 12, hal. 179–187, 2013.
- [13] K. Hussein, H. J. Hadi, R. Abdul-Mutaleb, dan Y. S. Mezaal, “Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee,” *Telkomnika*, vol. 18, no. 1, hal. 282–288, 2020.
- [14] E. Ihsanto dan S. Hidayat, “Rancang bangun sistem pengukuran pH meter dengan menggunakan mikrokontroller arduino uno,” *J. Teknol. elektro*, vol. 5, no. 3, hal. 142372, 2014.
- [15] I. P. D. Lesmana dan A. S. Bintoro, “SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENERIMAAN BEASISWA BIDIK MISI DI POLITEKNIK NEGERI JEMBER MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY,” *J. Teknol. Inf. dan Terap.*, vol. 1, no. 1, hal. 32–41, 2014.
- [16] J. Yan dan M. Ryan, “J. Power, Using Fuzzy Logic.” Prentice Hall International Limited, 1994.
- [17] M. A. Fikri, D. Erwanto, dan D. E. Yuliana, “Rancang Bangun Alat Prediksi Kondisi Tubuh Ideal Menggunakan Metode Fuzzy Logic Sugeno,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, Jun 2018.