

# Sistem Kendali Hybrid PID-FLC Pada Studi Kasus Robot Penjejak Dinding Berkaki

Arif Priswanto<sup>1</sup>, Sugiarto<sup>2</sup>, Joko Prasajo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Teknologi Nasional Yogyakarta; Jalan Babarsari Caturtunggal Depok Sleman Yogyakarta 55281, Telp.(+62274) 485390 Fax.(+62274) 487249 <sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro ITNY, Yogyakarta

e-mail: \*<sup>1</sup>[priswanto.arif@gmail.com](mailto:priswanto.arif@gmail.com), <sup>2</sup>[sugiarto\\_kadiman@itny.ac.id](mailto:sugiarto_kadiman@itny.ac.id), <sup>3</sup>[joko.prasajo@itny.ac.id](mailto:joko.prasajo@itny.ac.id)

## Abstrak

Kendali logika fuzzy (Fuzzy Logic Controller) merupakan salah satu kendali cerdas yang menggunakan sistem aturan sebagai basis pengetahuan, dengan memadukan (hybrid) antara kendali logika fuzzy dengan kendali PID. Kendali logika fuzzy juga biasa digunakan pada robot penjejak dinding (wall follower robot) yang dikombinasikan dengan motor servo sebagai aktuatornya. Kendali robot pada umumnya hanya menggunakan kendali PID. Tetapi apabila kendali PID diterapkan pada robot berkaki maka akan memiliki banyak kekurangan karena robot berkaki menggunakan penggerak motor servo yang berjumlah banyak sehingga memiliki respon lambat. Untuk mengatasi hal tersebut maka kendali PID dikombinasikan dengan FLC atau Fuzzy Logic Controller. Perancangan sistem kendali ini menggunakan Arduino Nano sebagai prosesor, Sensor SRF-05 sebagai pendeteksi jarak dengan rentang 3-300 cm, push button sebagai pengatur menu/pemilihan menu untuk setingan robot, LED, LCD sebagai penampil (display) menu pada robot, motor servo sebagai aktuator dari robot penjejak dinding serta komponen lain untuk menunjang pemrograman fuzzy dan Kendali PID. Hasil pengujian sistem kendali Hybrid PIDFLC pada studi kasus robot penjejak dinding didapati bahwa respon robot menjadi lebih cepat dan pergerakannya menjadi lebih halus. Kendali FLC pada robot penjejak dinding juga terlihat lebih maksimal dengan menggunakan metode Sugeno yaitu Wighted Average (WA). Pengujian sensor SR-05 juga hanya memiliki error maksimal 0,05%. Pergerakan robot juga dapat menyesuaikan sesuai dengan perintah yang ada dalam program ketika berada dalam dinding berbentuk U, dinding N dan dinding T.

**Kata Kunci:** Kendali PID, kendali FLC, robot penjejak dinding, motor servo, sensor ultrasonik.

## Abstract

Fuzzy logic control (Fuzzy Logic Controller) is one of the intelligent controls that uses a rule system as a knowledge base, by combining (hybrid) between fuzzy logic control and PID control. Fuzzy logic control is also commonly used in wall tracking robots (wall follower robots) in combination with a servo motor as an actuator. Robot control generally only uses PID control. However, if PID control is applied to a legged robot, it will have many disadvantages because the legged robot uses a large number of servo motor drives so it has a slow response. To solve this problem, PID control is combined with FLC or Fuzzy Logic Controller. The design of this control system uses the Arduino Nano as the processor, the SRF-05 sensor as a distance detector with a range of 3-300 cm, the push button as a menu controller / menu selection for robot, LED, and LCD settings as a menu display on the robot, servo motor as an actuator for wall tracking robots and other components to support fuzzy programming and PID control. The results of testing the Hybrid PIDFLC control system in the case study of the wall tracking robot found that the robot's response became faster and its movements became smoother. The FLC control on the wall tracking robot also looks more optimal using the Sugeno method, namely

*Wighted Average (WA). The SR-05 sensor test also only has a maximum error of 0.05%. The movement of the robot can also adjust according to the commands in the program when it is in a U-shaped wall, an N wall and a T wall.*

**Kata Kunci:** Kendali PID, kendali FLC, robot penjejak dinding, motor servo, sensor ultrasonik.

## 1. PENDAHULUAN

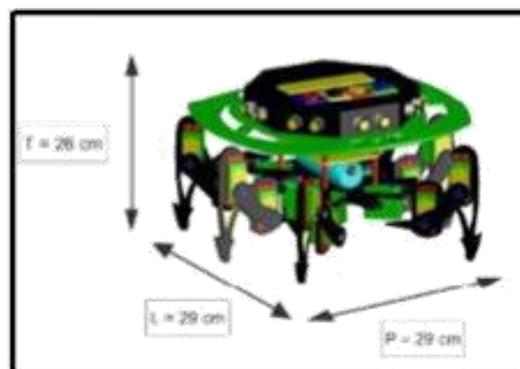
Robot penjejak dinding berkaki adalah robot yang menggunakan motor servo sebagai aktuatornya. Robot jenis ini sering dimanfaatkan untuk perlombaan seperti Kontes Robot Pemadam Api Indonesia. Pergerakan robot secara otomatis memerlukan system navigasi. Robot akan dirancang untuk bergerak secara otomatis pada area yang tidak terstruktur dan dapat menentukan sendiri jalur pergerakannya.

Navigasi pada robot penjejak dinding berkaki dikembangkan menggunakan sistem kendali Hybrid PID-FLC (*Fuzzy Logic Controller*). Kendali robot pada umumnya hanya menggunakan kendali PID karena kendali PID sudah memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah respon yang cepat dan error yang minimal. Tetapi apabila kendali PID diterapkan pada robot berkaki maka akan memiliki banyak kekurangan karena robot berkaki menggunakan penggerak motor servo yang berjumlah banyak sehingga memiliki respon yang lambat. System PID tidak akan berfungsi maksimal apabila terjadi error yang terlalu besar atau error yang terjadi secara mendadak sehingga terjadi osilasi pada set point, untuk mengatasi hal tersebut maka kendali PID dikombinasikan dengan FLC atau *Fuzzy Logic Controller*. FLC akan berfungsi sebagai kontroler tambahan saat robot mengalami osilasi atau robot mengalami perubahan error yang besar dan mendadak sehingga respon robot lebih cepat dan tidak mengalami osilasi yang besar.

Paper ini disusun dalam 4 bagian. Metode penelitian dibahas pada bagian 2. Bagian 3 menjelaskan penelitian hasil dan analisis. Sedangkan bagian akhir membahas kesimpulan yang diikuti oleh pustaka.

## 2. METODE PENELITIAN

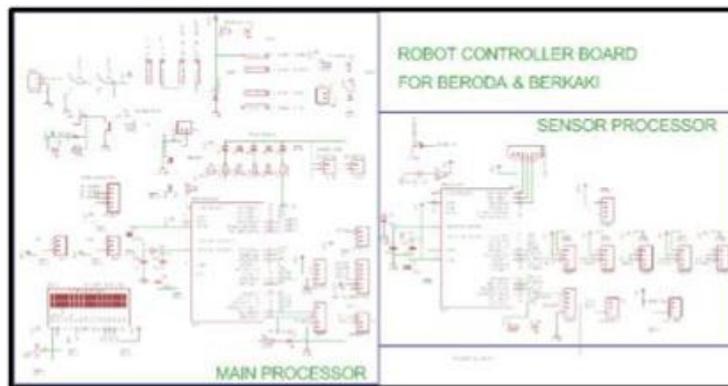
Dalam perancangan Sistem Kendali Hybrid PID-FLC pada Studi Kasus Robot Penjejak Dinding Berkaki memerlukan salah satu bagian pendukung kerja system, yaitu bagian mekanik. Sistem yang dimaksud adalah desain robot yang sekaligus sebagai penyokong/ kerangka dalam pemasangan komponen elektronik maupun sensor yang akan digunakan (Gambar 1) dapat dilihat rancangan mekanik pada robot penjejak dinding berkaki.



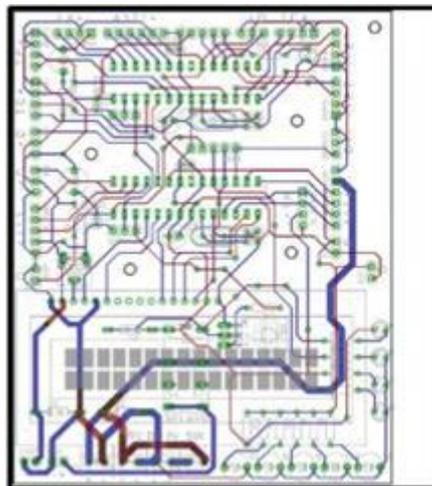
**Gambar 1.** Rancangan mekanik robot

Proses pembuatan rancangan robot menggunakan software Autodesk Inventor 2018 dengan ukuran robot 29cm x 29cm x 26cm. Robot ini memiliki jumlah kaki 6 dengan 18 motor servo, setiap kaki memiliki 3 motor servo penggerak dan di setiap kaki memiliki 3 derajat kebebasan yaitu gerakan naik-turun, maju-mundur dan kanan-kiri.

Perancangan perangkat keras elektrik menggunakan software Eagle 7.2 (gambar 2) dan ISIS Proteus 7.9 (gambar 3). Perancangan sistem elektronis selanjutnya yaitu perancangan arduino shield atau antarmuka arduino dan rangkaian driver motor servo. Arduino shield atau antarmuka arduino adalah sebutan untuk modul tambahan dengan berbagai fungsi dengan mencocokkan pin dengan pin arduino yang tersedia, sehingga menyusunnya diletakkan diatas board arduino.

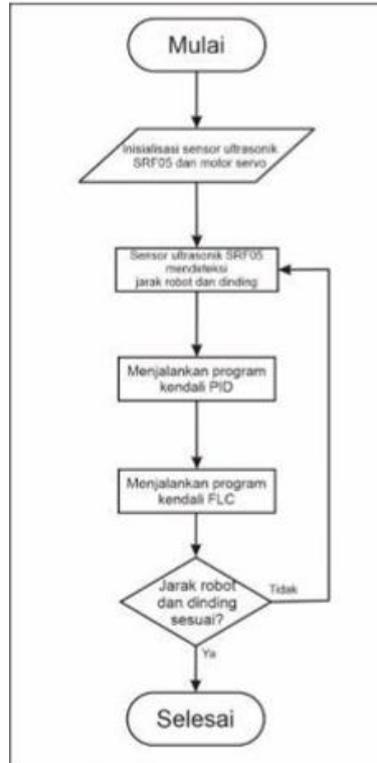


**Gambar 2.** Skematik rangkaian antarmuka Arduino nano



**Gambar 3.** Skematik rangkaian driver motor servo

Perancangan perangkat lunak pada sistem kendali hybrid PID-FLC pada studi kasus robot penjejak dinding berkaki terdiri dari flowchart program (gambar 4).



**Gambar 4.** Flowchart program

Dari flowchart pada gambar 4 maka dapat dibuat program dalam Bahasa C menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Perancangan program kendali hybrid PID-FLC adalah sebagai berikut:

1. Program inisialisasi dan perancangan navigasi  
Program inisialisasi terdiri dari program untuk menginisialisasi sensor ultrasonik, komunikasi serial, driver motor servo dan navigasi motor servo pada kaki-kaki robot.
2. Program kendali PID  
Program kendali PID terdiri dari implementasi persamaan kendali PID kedalam bahasa pemrograman komputer. Program kendali PID ditunjukkan oleh gambar 5.

```

//=====
void PID(){}
pv=min(rx_srf[4],rx_srf[3]*0.6)-Cx;

error=sp-pv;
out_p=(int)error*kp;
out_i=(int)(integral*ki)/ti;
if(error!=0)integral=integral+error;
else integral=0;
if(out_i>imax)out_i=imax;
if(out_i<-imax)out_i=-imax;
out_d=(int)(error-last_error)*kd;
last_error=error;
}
  
```

**Gambar 5.** Program PID

3. Program kendali FLC  
Program kendali FLC terdiri dari implementasi persamaan kendali FLC kedalam bahasa pemrograman komputer. Program kendali PID dibagi menjadi 3 tahap yaitu :



<i>Error</i>	E\DE	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z
	NM	NL	NL	NM	NM	NS	Z	PS
	NS	NL	NM	NS	NS	Z	PS	PM
	Z	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
	PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PL
	PM	NS	Z	PS	PM	PM	PL	PL
	PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL

Dari tabel 3.4 di dapatkan proses pengambilan nilai derajat keanggotaan antara *error* dan *delta error* adalah dengan mengambil nilai terkecil. Dan diambil nilai maksimal diantara luaran keanggotaan lainnya. Metode ini disebut dengan metode Min-Max ditunjukkan oleh persamaan 3.2.

$$U(x) = \max(U(x), \min(\text{error}(x), \text{deltaerror}(x))) \dots \dots \dots (2)$$

Program *rule base* pada bahasa pemrograman ditunjukkan oleh gambar 9.

```

void inference_rule_base() {
int i,j,k,l;
int rule[7][7]={{0,0,1,1,2,2,3},
                {0,1,1,2,2,3,4},
                {1,1,2,2,3,4,4},
                {1,2,2,3,4,4,5},
                {1,2,3,4,5,5,6},
                {2,3,4,4,5,5,6},
                {3,4,4,5,5,6,6}};

u[0]=0; u[4]=0;
u[1]=0; u[5]=0;
u[2]=0; u[6]=0;
u[3]=0;
d[0]=0; d[4]=0;
d[1]=0; d[5]=0;
d[2]=0; d[6]=0;
d[3]=0;

for(i=0; i<7; i++){
for(j=0; j<7; j++){
k=rule[i][j];
u[k]=max(u[k],min(membership_error[j],membership_derror[i]));
d[k]=max(d[k],min(membership_error[j],membership_derror[i]));
}
}
}
    
```

Gambar 9. Program *rule base*

- c. Program defuzzyfikasi yaitu suatu proses untuk mengubah dari bentuk fuzzy (variabel linguistik) menjadi tegas (crisp), merupakan kebalikan dari fuzzyfikasi. Dalam program kendali hybrid PID-FLC pada robot berkaki, defuzzyfikasi menggunakan metode *Weighted Average (WA)* yang ditunjukkan oleh gambar 10.

```

void defuzzyfikasi() {
float pemb, peny, pend, pend;
int c[7]={-15,-10,-5,0,5,10,15};
int f[7]={-30,-20,-10,0,10,20,30};

pemb=((c[0]*u[0])+(c[1]*u[1])+(c[2]*u[2])+(c[3]*u[3])+(c[4]*u[4])+(c[5]*u[5])+(c[6]*u[6]));
pend=((f[0]*d[0])+(f[1]*d[1])+(f[2]*d[2])+(f[3]*d[3])+(f[4]*d[4])+(f[5]*d[5])+(f[6]*d[6]));

peny=u[0]+u[1]+u[2]+u[3]+u[4]+u[5]+u[6];
pend=d[0]+d[1]+d[2]+d[3]+d[4]+d[5]+d[6];

if(error<0){
oe=(pemb/peny)-(-error);
} else {
oe=(pemb/peny)+(error);
}

if(de_error<0){
od=(pend/pend)*(-de_error);
} else {
od=(pend/pend)*(de_error);
}

uk=od+oe;
}
    
```

Gambar 10. Program defuzzyfikasi

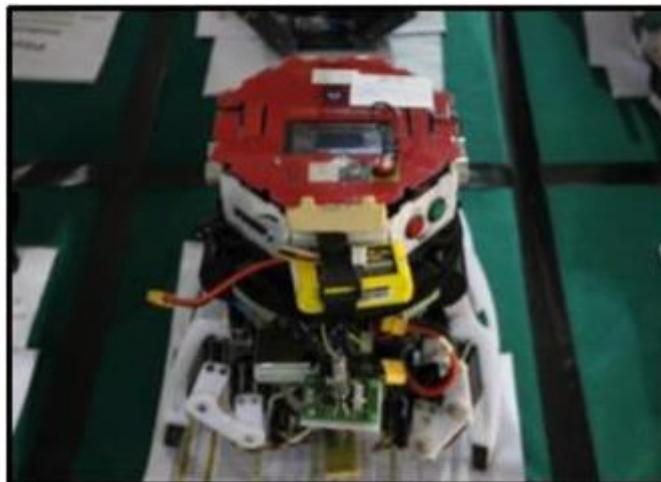
Untuk dapat mengunggah program dari perangkat-lunak ke sistem, maka harus dikonfigurasi terlebih dahulu, dengan melakukan pengaturan IDE sesuai dengan board yang digunakan. Setelah board dan port telah diatur maka perangkat-lunak Arduino dengan mikrokontroler Arduino yang terdapat pada sistem sudah siap untuk digunakan dan telah konfigurasi.

Dalam proses pengujian sistem terdapat beberapa proses pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem yang dirancang, pengujian yang dilakukan diantaranya yaitu:

1. Pengujian terhadap sensor SRF05
2. Pengujian *shield* Arduino
3. Pengujian robot.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat-keras robot penjejak dinding berkaki yang dirancang terdapat beberapa bagian gambar 11.



Gambar 11. Hasil perancangan perangkat keras

1. Pengujian sensor SRF05

Hasil dari pengukuran sensor mempunyai tingkat error yang rendah tabel 2, sensor SRF05 hanya dapat bekerja pada radius 3cm-370cm.

Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik SRF05

NO	SENSOR	JARAK SEBENARNYA (CM)	JARAK TERDETEKSI (CM)	ERROR (%)
1	Sensor 1	10	10.06	0.0006
2		20	21	0.01
3		30	32.37	0.0237
4		40	43.65	0.0365
5		50	54.51	0.0451
6	Sensor 2	10	10.16	0.0016
7		20	21	0.01
8		30	32.37	0.0237
9		40	43.65	0.0365
10		50	54.51	0.0451
11	Sensor 3	10	10.06	0.0006
12		20	21	0.01
13		30	32.37	0.0237
14		40	43.65	0.0365
15		50	54.51	0.0451

2. Pengujian Shield Arduino Nano

Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan pada shield Arduino nano kemudian mengukur pada pin +5V, Vin, dan Ground serta pengujian tahanan sambungan antara pin arduino dengan pin shield menggunakan Multitester.



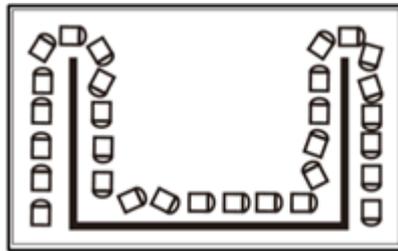
Gambar 12. Hasil perancangan perangkat keras

Tabel 3 Hasil Pengujian *shield* Arduino

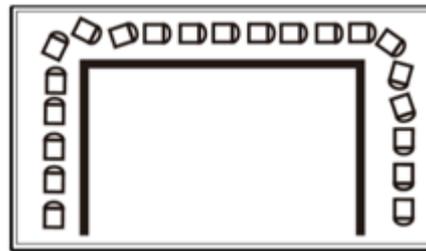
No	Pin	Indikator Multitester	Kondisi	Keterangan
1	+5V	±5 Volt	Normal	-
2	Vin	±5 Volt	Normal	-
3	Ground	0 Volt	Normal	-
4	Pin Arduino	0	Tersambung	Normal
5	Pin Arduino	Angka	Tersambung	Terapat Hambatan Dalam
6	Pin Arduino	E (-)	Tidak Tersambung	Tidak Tersambung

3. Hasil Pengujian Robot

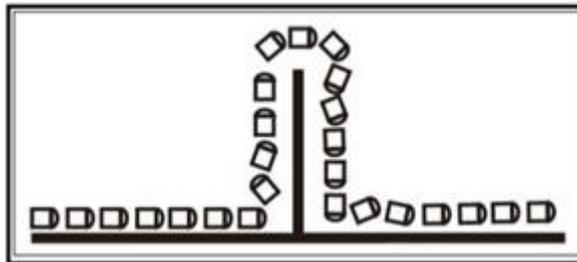
Hasil dari pengujian kendali hybrid PID-FLC pada robot penjejak dinding berkaki adalah berupa respon terhadap obyek dinding yang berbeda bentuk.



Gambar 13. Hasil pengujian pada dinding berbentuk U



Gambar 13. Hasil pengujian pada dinding berbentuk U



Gambar 15. Hasil pengujian pada dinding berbentuk T

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian system kendali hybrid PID-FLC pada studi kasus robot penjejak dinding berkaki memiliki respon yang lebih cepat dan pergerakan yang halus. Kendali FLC pada robot penjejak dinding lebih maksimal menggunakan metode Sugeno yaitu Weighted Average (WA)

5. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan auto-tunning parameter PID menggunakan logika fuzzy.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arivani, Asti Safina. 2016.** Rancang BAngun Wall Follower Robot Menggunakan Fuzzy Logic Controller.
- Ari Azhar, K. D. K. W. H. S., 2015.** Perancangan Fuzzy Logic Model Sugeno untuk Wall Tracking pada Robot Pemadam Api
- Awal, Hasri. 2016.** Algoritma Fuzzy Logic dan Wall Follower pada Sistem Navigasi Robot Hexapod Berbasis Mikrokontroler AVR. UPI YPTK PADANG.
- Dedy Nurmansyah, Muhammad. 2011.** Autotuning Parameter Kendali PD dengan Tsukamoto Fuzzy Menggunakan Bahasa C. STTN BATAN.
- Fahmizal, 2013.** Development of a Fuzzy Logic Wall Following Controller for Steering Mobile Robots.
- Proceedings of 2013 International Conference on Fuzzy Theory and Its Application.**
- Rendyansyah. 2016.** Robot dikembangkan dengan metode behaviour (perilaku) menggunakan logika fuzzy.
- Rahman, M., 2016.** Penerapan Metode Fuzzy Pada Robot Beroda Menggunakan Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer 4965 Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya.
- Ramadan, H., 2018.** Scoring System Otomatis Pada Lomba Menembak Dengan Target Silhouette Hewan Menggunakan Logika Fuzzy. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, Volume II, p.9.
- Wang, X., 2011.** Wall Following Algorithm for a Mobile Robot Using Extended Kalman Filter, Alabama : Auburn University.