

# Perancangan Sistem Kontrol Hybrid pada *Prototype* Kaki Bionik Berbasis Matlab/Simulink

Tamara Coglitore, I Wayan Widhiada, I Made Widiyarta  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Kaki palsu merupakan salah satu alat bantu yang dapat digunakan penyandang disabilitas ekstremitas bawah. Pengembangan kaki palsu di Indonesia bersifat konvensional dimana pengguna masih menghabiskan banyak tenaga untuk menggerakkan kaki palsu. Kaki Bionik merupakan terobosan terbaru sebagai solusi permasalahan tersebut dengan mengatur gerakan kaki bionik. Gerakan kaki bionik diatur dengan implementasi sistem kontrol pada mikrokontroler. Perancangan sistem kontrol Hybrid dilakukan dengan penggabungan sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic. Perancangan PID dilakukan dengan auto-tuning untuk mendapatkan parameter yang diperlukan yaitu  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$  dan perancangan Fuzzy Logic dilakukan dengan menentukan parameter input, output, dan rules. Pengujian dilakukan dengan melakukan interface dengan Matlab/Simulink pada prototype dengan menggunakan sistem kontrol sederhana dan dengan menggunakan sistem kontrol Hybrid dengan waktu 10s pada sudut referensi  $90^\circ$ . Parameter PID yang didapatkan yaitu  $k_p = 2 KP$ ,  $k_i = 18 KI$  dan  $k_d = 0.5 KD$ . Parameter Fuzzy Logic yang didapat berupa input dari PID dan error dengan output voltase motor DC. Data gerak yang didapatkan dari respon transien yaitu maximum overshoot, persentase error, dan settle time 2,68%, 3,17%, dan 0,419s berturut-turut. Performa prototype dengan sistem kontrol Hybrid menghasilkan gerakan yang optimal dan akurat.

Kata kunci: Sistem kontrol, Hybrid, Kaki Bionik

## Abstract

Prosthetic limbs are one of the tools that is used for people with lower limb disabilities. The development of prosthetic limbs in Indonesia is conventional where users spend a lot of energy to move it. Bionic legs are the latest breakthrough as a solution to the problem. Bionic legs movement can be regulated by implementing the control system on a microcontroller. The design of the Hybrid control system is done by combining the PID and Fuzzy Logic control systems. PID design is done by auto-tuning to get the required parameters,  $k_p$ ,  $k_i$ , and  $k_d$ , and Fuzzy Logic design is done by determining input, output, and rule parameters. Testing is done by doing interface with Matlab / Simulink on a prototype using a simple control system and Hybrid control system with a time of 10s at a reference angle of  $90^\circ$ . The PID parameters obtained are  $k_p = 2 KP$ ,  $k_i = 18 KI$  and  $k_d = 0.5 KD$ . Fuzzy Logic parameter obtained consists of input from PID and error with DC motor voltage output. The motion data obtained from the transient response are maximum overshoot, percentage error, and settle time of 2.68%, 3.17%, and 0.419s respectively. The prototype performance with the Hybrid control system generate optimal and accurate motion.

Keywords: Control system, Hybrid, Bionic leg

## 1. Pendahuluan

Penyandang disabilitas di Indonesia memiliki angka yang tidak sedikit. Berdasarkan survey yang dilakukan pada 14 (dari 33) propinsi di Indonesia, tercatat 1.167.111 jiwa penyandang disabilitas [1]. Salah satu contoh disabilitas adalah disabilitas ekstremitas bawah. Pada umumnya penyandang disabilitas ekstremitas bawah melakukan aktivitas dengan menggunakan kaki palsu. Terdapat banyak pengembang kaki palsu di Indonesia yang menyediakan kaki palsu dengan harga relatif murah dan mudah dimanufaktur, tetapi karena kaki palsu bersifat konvensional maka pengguna masih menghabiskan banyak tenaga untuk menggerakkan kaki palsu. Permasalahan tersebut dapat dikurangi dengan membuat *robotic prosthetic limbs* atau kaki bionik.

Bionik adalah ilmu yang mempelajari pergantian struktur anatomik atau proses fisiologi dengan komponen elektronik dan mekanik. Bionik merupakan istilah yang mengacu kepada aliran gagasan dari biologi sampai teknik dan sebaliknya

[2]. Kaki bionik bertujuan untuk menggantikan bagian kaki dengan pendekatan mekanis sebagai alat bantu alternatif penyandang disabilitas ekstremitas bawah.

Kaki bionik diatur dengan merancang sistem kontrol hingga mendapatkan gerakan yang diinginkan. Sistem kontrol merupakan *tool* untuk mengendalikan, memerintah dan mengatur keadaan dari suatu sistem untuk mendapatkan gerakan yang optimal. Menurut Erinofiardi, sistem kontrol bertujuan untuk mengendalikan proses otomatis tanpa adanya campur tangan manusia [3]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hualong Xie, kaki bionik dengan rancangan sistem kontrol PID menghasilkan gerakan normal manusia menggunakan metode *trial and error* [4]. Penelitian lain menunjukkan perancangan ibu jari dengan sistem kontrol Fuzzy yang menghasilkan gerakan fleksibel serupa gerakan manusia [5].

Pada penelitian ini dirancang sistem kontrol Hybrid, yaitu gabungan dari sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic, pada kaki bionik berbasis

matlab/Simulink. Penelitian yang dilakukan oleh Satish R. menunjukkan perbandingan performansi karakteristik respon transien sistem kontrol PID dengan sistem kontrol Hybrid. Pada penelitiannya didapatkan hasil dimana penggunaan sistem kontrol hybrid memberikan karakteristik lebih baik, yaitu *overshoot* dan *settling time* yang lebih kecil dengan *error steady state* nol [6]. mendapatkan gerakan *prototype* kaki bionik yang optimal, akurat, dan respon yang cepat dengan mengurangi *error signal*, *maximum overshoot*, dan *settle time*.

## 2. Dasar Teori

Dalam perancangan sistem kontrol, suatu dasar perbandingan sistem kontrol dibutuhkan. Dasar ini dapat disusun dengan menetapkan sinyal-sinyal uji tertentu dan membandingkan tanggapan (respon) *output* berbagai sistem terhadap sinyal-sinyal masukan ini.

Respon transien adalah karakteristik respon suatu sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal *input*, gangguan maupun beban sampai respon masuk ke dalam *steady state* atau sama dengan nol [7].

Pada penelitian ini, parameter yang diperhatikan pada respon transien antara lain.

1. *Settling Time* (waktu penetapan), ts. Merupakan waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir. Waktu penetapan ini dikaitkan dengan konstanta waktu terbesar dari sistem kontrol. Kriteria persentase kesalahan yang digunakan ditentukan dari sasaran disain sistem yang dinyatakan
2. *Maximum Overshoot* (lewatan maksimum), Mp. Merupakan harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu. Besarnya lewatan maksimum secara langsung menunjukkan kestabilan relatif sistem.
3. *Error Percentage*, yaitu selisih antara luaran dan masukan sistem, untuk menentukan kepresisian sistem.

Sistem kontrol yang dirancang pada penelitian ini merupakan sistem kontrol hybrid yaitu kombinasi dari sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic. Kontrol PID merupakan kombinasi dari kontrol proporsional (kp), integral(ki) dan derivatif(kd). Parameter kp berlaku sebagai penguat (*gain*) yang memberi pengaruh langsung pada *error*, dimana semakin besar *error* maka semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan kontroler. Parameter ki berfungsi untuk memperbaiki *steady-state* sehingga grafik respon transien dengan sistem kontrol PID lebih stabil. Parameter kd berfungsi untuk mengatur kecepatan atau *rate* dari *error*, dimana umpan balik yang diberikan sebanding dengan kecepatan perubahan

*error* terhadap waktu sehingga kontroler dapat mengantisipasi *error* yang terjadi.

Kontrol Fuzzy Logic merupakan salah satu metode dalam AI (*Artificial Intelligence*) dengan teori *fuzzy set* untuk mengkalibrasi ketidak-jelasan. Fuzzy Logic mencerminkan bagaimana orang berfikir dan mencoba menirukan model kata-kata, pengambilan keputusan, dan akal sehat manusia sehingga mengarah ke sistem baru yang lebih manusiawi dan cerdas.

## 3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat *prototype* kaki bionik dibuat dengan aktuator motor DC. Terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain Arduino Mega 2560, L298N motor driver, dan potensiometer.



Gambar 1. *Prototype* Kaki Bionik

Rancangan dibuat dengan memasang aktuator motor DC yang disambungkan dengan L298N motor driver yang disambungkan pada Arduino Mega 2560 dan catu daya. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560 yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar dan arah putaran dari motor DC. L298N motor driver digunakan untuk mengatur motor DC layaknya motor servo. Input yang digunakan berupa sudut referensi yang dibuat dan output berupa masukan dari potensiometer yang menunjukkan sudut aktual *prototype*.

Sistem kontrol PID dibuat dengan melakukan *auto-tuning* pada simulasi. Simulasi dibuat dengan parameter motor DC aktual sehingga mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd sesuai dengan plant. Parameter yang didapatkan antara lain Kp = 2 KP, Ki = 18 KI dan Kd = 0.5 KD.

Sistem kontrol Fuzzy Logic dibuat dengan *input*, *output* dan *rule* sebagai berikut.

Parameter-parameter INPUT(PID) :

- nol : [0 0 0]
- Small : [0 45,5 91]
- Med : [45,5 91 136,5]
- Large : [91 182 273]
- XLarge : [227,5 273 364]

Parameter-parameter INPUT(Error) :

- nol : [0 0 0]
- Small : [0 0,25 0,5 0,75]
- Med : [0,25 0,5 0,75]
- Large : [0,5 1 1,5]
- XLarge : [1,25 1,5 2 4]

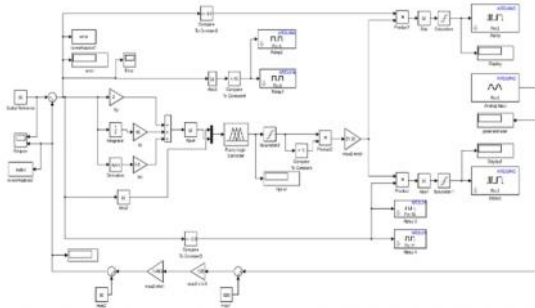
Parameter-parameter Output(volt) :

- nol : [10 10 10]
- Small : [10,5 10,8 11 11,5]
- Med : [11 11,5 11,9]
- Large : [11,6 12,1 12,8]
- XLarge : [12,1 12,5 13 14]

Rule / aturan yang digunakan yaitu :

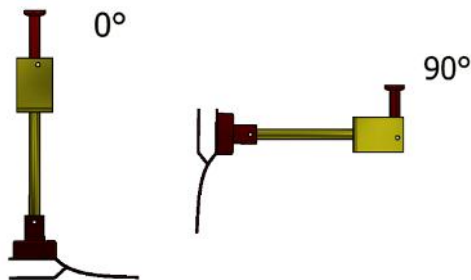
- 1.) IF (error is nol) and (PID is nol) then (volt is nol) (1)
- 2.) IF (error is s) and (PID is s) then (volt is s) (1)
- 3.) IF (error is m) and (PID is m) then (volt is m) (1)
- 4.) IF (error is l) and (PID is l) then (volt is l) (1)
- 5.) IF (error is xl) and (PID is xl) then (volt is xl) (1)

Nilai parameter yang telah dibuat diinput pada sistem kontrol aktual sehingga didapatkan diagram blok sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol Hybrid

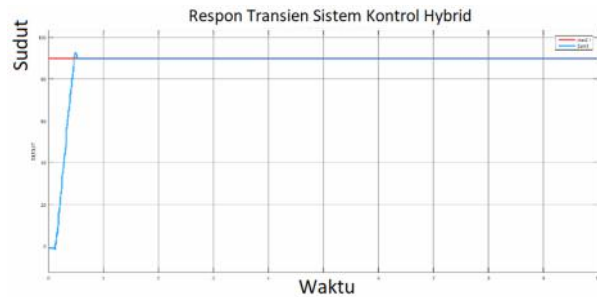
Pengujian yang dilakukan berupa *interface* dengan Matlab/Simulink pada *prototype* dengan menggunakan sistem kontrol Hybrid. Dilakukan pengujian dengan waktu 10s pada sudut referensi  $90^\circ$  untuk mendapatkan respon transien gerak *prototype* kaki bionik untuk mendapatkan parameter *error signal* dan *maximum overshoot* kurang dari 5% dan *settle time* kurang dari 2s.



Gambar 3. Sudut yang ditentukan

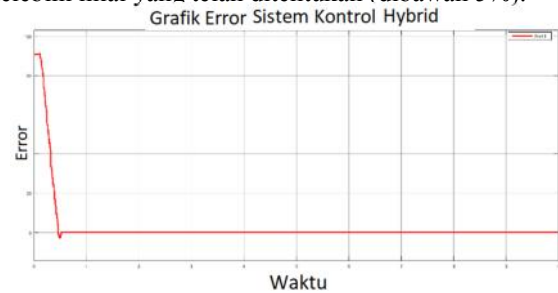
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Dengan melakukan *interface* antara *prototype* kaki bionik dan komputer didapatkan hasil respon berupa grafik gerakan aktual dari *prototype* kaki bionik.



Gambar 6. Grafik respon transien sistem kontrol Hybrid

Garis merah menunjukkan sudut referensi dan garis biru menunjukkan respon aktual gerak kaki bionik dengan sistem kontrol Hybrid. Waktu yang diperlukan untuk mencapai stabil yaitu 0,419s dengan sudut  $89,73^\circ$ . *Maximum overshoot*nya senilai 92,14 yaitu 2,68%. Nilai *maximum overshoot* tidak melebihi nilai yang telah ditentukan (dibawah 5%).



Gambar 7. Grafik nilai *error prototype* sistem kontrol Hybrid

Gambar 7 menunjukkan grafik *error* terhadap waktu pada *prototype* dengan sistem kontrol Hybrid. Pada grafik ditunjukkan selisih output dan input *prototype* dengan sistem kontrol Hybrid. Nilai *error* yang terjadi senilai 2,902 dan nilai *error* maksimum yang didapat senilai 91,34 sehingga didapatkan persentase nilai *error* yaitu 3,17%. Nilai *error* yang didapat masih dibawah nilai yang sudah ditentukan (dibawah 5%).

Tabel 1. Respon Transien *Prototype* Kaki Bionik

Respon Transien dengan Sistem Kontrol Hybrid		
Error (%)	Max. Overshoot (%)	Settle time (s)
3,17	2,68	0,419

Tabel 1 menunjukkan respon transien hasil pengujian kaki bionik dengan sistem kontrol Hybrid. Hal yang diperhatikan antara lain yaitu *error* dan *maximum overshoot* kurang dari 5% dan *settle time* kurang dari 2s.

Gerak *prototype* dengan sistem kontrol Hybrid memiliki nilai *maximum overshoot*, persentase *error*, dan *Settle time* senilai 2,68%, 3,17%, dan 0,419s berturut-turut. Performa *prototype* akurat dan waktu

yang diperlukan untuk mencapai sudut referensi relatif cepat. Hal ini disebabkan karena adanya gabungan dari sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic. Masing-masing sistem kontrol memiliki karakteristik untuk mengoptimalkan gerakan sistem sehingga menghasilkan gerakan yang presisi dan akurat. Mekanisme penggabungan menentukan seberapa dominan kendali satu terhadap kendali lainnya sehingga dapat diperoleh respon gerak yang baik dan memenuhi indikator keberhasilan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian perancangan sistem kontrol Hybrid pada *prototype* kaki bionik berbasis Matlab/Simulink didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Parameter yang didapat dari perancangan sistem kontrol Hybrid pada *prototype* kaki bionik adalah  $K_p = 2$  KP,  $K_i = 18$  KI dan  $K_d = 0.5$  KD. Parameter fuzzy logic digunakan berupa *input* dari PID dan *error* dengan *output* voltase motor DC.
2. Gerak *prototype* dengan sistem kontrol Hybrid memiliki nilai *maximum overshoot*, persentase *error*, dan *settle time* senilai 2,68%, 3,17%, dan 0,419s berturut-turut.
3. Gerak *prototype* dengan sistem kontrol Hybrid menghasilkan gerak yang akurat karena terdapat parameter  $k_p$ ,  $k_i$ , dan  $k_d$  yang berfungsi sebagai penguat sinyal, memperbaiki *steady-state*, dan mengantisipasi *error* yang akan terjadi, dan Fuzzy Logic yang mencerminkan bagaimana orang berfikir dan mencoba menirukan model kata-kata, pengambilan keputusan, dan akal sehat manusia sehingga mengarah ke sistem baru yang lebih manusiawi dan cerdas

## Daftar Pustaka

- [1] Marjuki (t.t), 2010, *Penyandang cacat berdasarkan klasifikasi ICF*, Kepala Badan Penelitian dan Pendidikan, Kemensos RI.
- [2] Juan P. Giraldo, Markita P. Landry, Sean M. Faltermeier, dkk., 2014, *Plant Nanobionics Approach To Augment Photosynthesis And Biochemical Sensing*, Nature Materials.
- [3] Erinofiardi, Supardi, N. I., Redi, 2012, *Penggunaan PLC dalam Pengontrolan Temperatur, Simulasi pada Prototype Ruangan*, Jurnal Mekanikal, Vol. 3 No. 2, ISSN: 2086-3403.
- [4] Hualong Xie, Keli Chen, Yuying Yang, Fei Li, 2015, *Artificial Leg Design and Control Research of a Biped Robot with Heterogeneous Legs Based on PID Control Algorithm*, Shenyang: Int. J. BioAutomation. Vol. 19 No.1:95-106

- [5] Dey, Anilesh & Goswami, Amarjyoti & Rohman, Abdur & Das, Jamini & Dey, Nilanjan & Ashour, Amira S. & Fuqian, Shi, 2017, *Thumb Movement for Prosthetic Hand based Fuzzy Logic*, International Journal of Advanced Intelligence Paradigms.
- [6] Vaishnav Satish R., Zafar J. Khan, 2009, *Performance of Tuned PID Controller and A New Hybrid Fuzzy PD+I Controller*, England, UK: World Journal of Modelling and Simulation. Vol. 6 No. 2, pp. 141-149.
- [7] Ogata, Katsuhiko, 1996, *Teknik Kontrol Automat*, Jakarta: Erlangga



**Tamara Coglitore**, Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Denpasar, Bali. Konsentrasi Program Studi yang diambil Rekayasa manufaktur.

Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Denpasar, Bali. Bidang penelitian yang diminati adalah robotika dan topik-topik yang berkaitan dengan dunia mekatronika.



**Wayan. Widhiada, ST, MSc, PhD** telah bekerja sebagai dosen di bidang Teknik Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia sejak 1996.