

Perbandingan Karakteristik Sistem PI & PD Kontrol Dengan Interface MATLAB / Simulink Pada *Knee Prosthetics limbs*

Alpin Angga Guntara, I Wayan Widhiada, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Banyaknya sistem kontrol yang digunakan pada peralatan canggih saat ini salah satunya PID. Karakteristik sistem proporsional sebagai pemberi sinyal kendali error dan penguat, integral sebagai penstabil sistem, derivatif sebagai pengkoreksi kesalahan sistem. Sistem kontrol integral Sistem Proporsional, Integral, dan Derivatif memiliki karakteristik sistem yang unik dan saling berkaitan. Pada penelitian kali ini menganalisa tentang bagaimana karakteristik dari sistem kontrol PI & PD yang dihasilkan pada prototype knee prosthetic limbs yang menggunakan motor servo sebagai aktuator dengan menggunakan interface aplikasi MATLAB/Simulink. Pengujian dilakukan dengan waktu 10s dengan sudut referensi 90°. Parameter kontroler PI yaitu $k_p = 2$ dan $k_i = 18$, kontroler PD yaitu $k_p = 2$ KP dan $k_d = 0.5$ KD dengan output berupa nilai maksimum overshoot, persentase error dan settle time. Kesimpulan hasil berupa pengujian kebenaran teori dan perbandingan terhadap karakteristik sistem yang dihasilkan.

Kata kunci: Sistem kontrol, Karakteristik, Output

Abstract

The number of control systems used in sophisticated equipment is PID. The characteristics of a proportional system as an error and signal control signaling, integral as a system stabilizer, derivatives as a system error correction. Integral control systems Proportional, Integral, and Derivative systems have unique and interrelated system characteristics. This study analyzes the characteristics of the PI & PD control system produced on the prototype knee prosthetic limbs using servo motors as actuators using the MATLAB / Simulink application interface. The test is carried out in 10s with a reference angle of 90°. The PI controller parameters are $k_p = 2$ and $k_i = 18$, PD controller is $k_p = 2$ KP and $k_d = 0.5$ KD with the output in the form of maximum overshoot value, error percentage and settle time. Conclusion results in the form of testing the truth of the theory and comparison of the characteristics of the resulting system.

Keywords: Control system, Characteristics, Output

1. Pendahuluan

Fungsi robot saat ini sering kita jumpai untuk menggantikan pekerjaan manusia. Bahkan hingga saat ini fungsi robot sudah diterapkan pada anggota tubuh yang hilang seperti kaki bionik. Namun dewasa ini negara Indonesia masih belum mampu memproduksi kaki palsu berbasis robot sendiri, dikarenakan teknologi industri di dalam negeri yang masih belum mumpuni untuk memproduksi bahan yang diperlukan. Padahal jika ditinjau dan diwawancarai banyak dari kalangan masyarakat kaum tunadaksa sangat berharap dapat memiliki kaki bionik yang dapat digerakkan layaknya kaki manusia pada umumnya karena kebanyakan kaki palsu yang diberikan hanya dapat menopang tubuh mereka[1].

Pada penelitian kali ini akan membahas tentang pengembangan konsep robotika pada kaki buatan yang diistilahkan dengan kaki bionik atau robotic prosthetic limbs. Fungsi robot yang diterapkan penelitian ini dibuat menyerupai fungsi lutut (Knee Joint). Penelitian ini menggunakan konsep kaki palsu yang dijual dipasaran sebagai contoh awal, kemudian kami kembangkan lagi untuk bagian rangkanya kedalam aplikasi inventor kemudian diSimulink-kan dengan aplikasi MATLAB® dengan Solidwork.

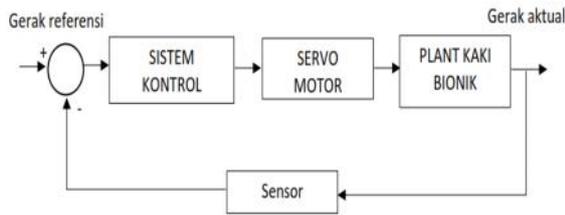
Barulah dilakukan penambahan berupa motor, sensor, sirkuit terpadu, dan catu dayanya[2].

Prototype mengadaptasi sistem Robot Teknologi Rendah karena hanya menggunakan motor listrik, selain itu masing-masing prototype hanya memiliki 2 pergerakan *Degree of Freedom* dan pergerakan waktu siklus tersebut dibawah 10 detik. Pada penelitian ini juga akan dilakukan perancangan terhadap sistem kontrol PI & PD pada *knee prosthetics limbs* dengan menggunakan interface MATLAB/Simulink untuk mendapatkan perbandingan sistem dan menganalisis dari masing masing sistem kontrol dan membuktikan pengaruh PI & PD secara teoritis dengan mengurangi error signal, maximum overshoot, dan settle time[3].

2. Dasar Teori

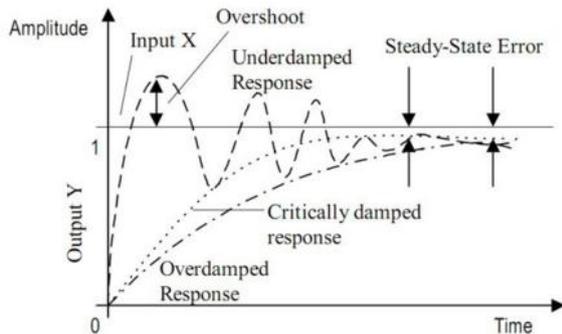
Karakteristik sistem kontrol sangatlah unik dan saling berkaitan satu dengan lainnya. Sistem kontrol *closed loop* (umpan balik) adalah hubungan yang dipertahankan sistem ditentukan antara keluaran dengan masukan di mana nilai keluaran dari sistem akan dikoreksi oleh kontroler sehingga berpengaruh pada output dari kontrolnya. Secara garis besar

sistem kontrol otomatis terdiri dari sistem kontrol dan robot (elektronik & mekanik). Gambar 1.



Gambar 1. Sistem closed loop

Gerak referensi input yang digunakan berupa sudut yang kemudian dirubah menjadi nilai *error* untuk diolah pada model matematik dari kontroler. Kemudian Output dari kontroler diteruskan ke motor DC dan plant untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan. Input kontroler akan bernilai nol apabila hasil gerak aktualnya sama dengan referensi. Keadaan *steady state* akan dicapai bilamana nilai *error* yang didapat semakin kecil. Ini berpengaruh terhadap sinyal kemudi pada kontrolernya[4].



Gambar 2. Bentuk sinyal respon

Pada Gambar 2. merupakan bentuk kurva yang dihasilkan oleh aplikasi MATLAB®. Kurva yang dihasilkan sudah memuat otomatis nilai-nilai yang harus dicari seperti *maximum overshoot*, jumlah *error* yang dihasilkan, hingga *settling time* dari sistem[5].

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode simulasi dan eksperimental, dimana dilakukan pembuatan sistem kontrol dan menguji hipotesis sebab dan akibat melalui pemanipulasian variabel bebas dan membuat perbandingannya.

Variabel bebas merupakan *input* dari sistem kontrol PI, PD dan variabel terikat merupakan *output* gerak *real prototype*. Data yang didapat berupa grafik transien dan akan dimuat pembahasan dari data sehingga didapat kesimpulan dari penelitian implementasi sistem kontrol pada *prototype* yang kemudian selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui pengaruh dari masing masing sistem kontrolnya.

Pada prorotype terdapat beberapa bagian komponen berupa mikrokontroler, aktuator, motor driver, sensor Myoware dan potensiometer. Motor

DC yang telah dipasang sebagai aktuator disambungkan dengan L298N motor driver yang disambungkan pada mikrokontroler dan baterai. Arduino berfungsi untuk pengaturan arah dan kecepatan putaran dari motor DC. Motor driver disambungkan dengan motor DC agar dapat disetel seperti motor servo. Potensiometer dan sensor Myoware *connect* dengan mikrokontroler input analog. Sensor Myoware digunakan sebagai input gerakan otot dan potensiometer digunakan sebagai output pengukuran sudut.



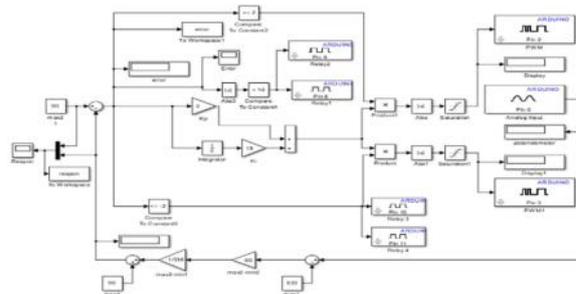
Gambar 3. Prototype kaki bionik

Terdapat fungsi *Tuning* kontroler untuk menentukan nilai dari parameter sistem kontrol PID pada program MATLAB dengan tujuan agar sistem *closed loop* memenuhi kriteria output yang diinginkan sesuai dengan plant dan aktuator Motor DC yang digunakan.

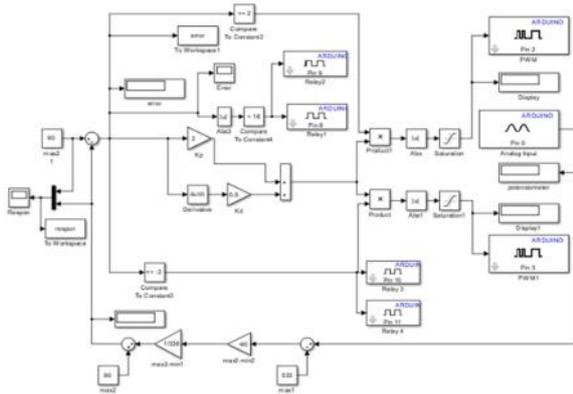
Tabel 1 Parameter Aktuator Motor DC

Voltage Rating (V)	No Load		Load Rating			Locked Torque (Kgf.cm)	Locked Current (A)
	Speed (r.p.m)	Current (A)	Torque (Kgf.cm)	Speed (r.p.m)	Current (A)		
12	85 ± 25	≤ 3	30	70 ± 20	≤ 7	85 ± 25	≤ 20

Parameter yang didapatkan untuk sistem PI adalah $K_p = 2$ KP, $K_i = 18$ KI. Untuk sistem PD adalah $K_p = 2$ KP dan $K_d = 0.5$ KD, Nilai parameter yang telah didapatkan pada simulasi diinput pada sistem kontrol aktual Gambar 4 dan Gambar 5.

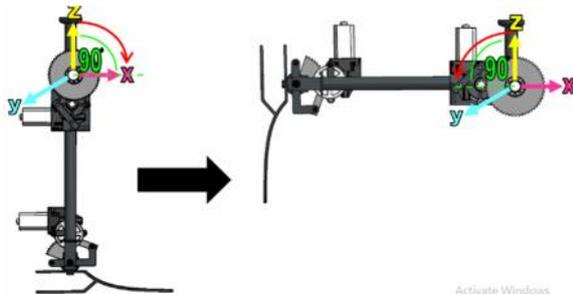


Gambar 4. Diagram blok sistem kontrol PI



Gambar 5. Diagram blok sistem kontrol PD

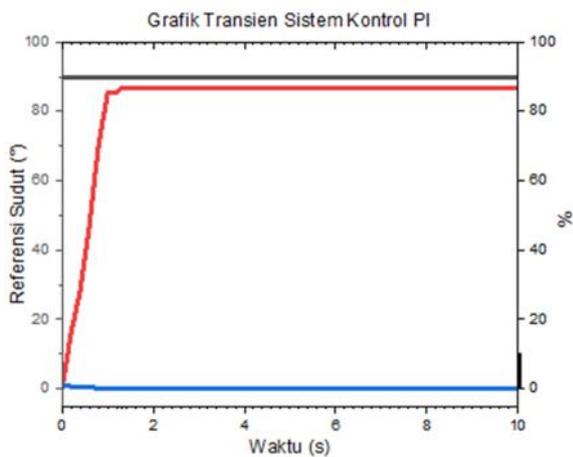
Pengujian dilakukan dengan melakukan *interfacing* dengan Matlab/Simulink pada *prototype* dengan menggunakan sistem kontrol PI & PD dengan waktu 10s pada sudut referensi 90° (sesuai dengan referensi jurnal ilmiah) sebagai pembandingan. Hasil yang didapatkan berupa respon transien gerak *prototype* kaki bionik untuk mendapatkan parameter *error signal* dan *maximum overshoot*.



Gambar 6. DoF *Prototype* bagian Lutut

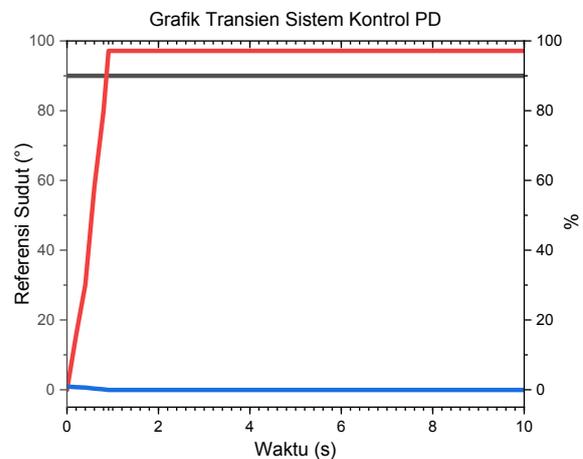
4. Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu menyambungkan antara *prototype* kaki bionik dengan program MATLAB menggunakan kabel penghubung dengan mikrokontrolernya hingga didapatkan hasil pengujian berupa grafik transien.



Gambar 7. Grafik Transien Sistem PI

Pada Gambar 7. Garis abu-abu menunjukkan sudut referensi, garis merah menunjukkan respon gerak aktual *prototype* kaki bionik dan garis biru menunjukkan sinyal output error sistem kontrol PI. Waktu yang diperlukan untuk mencapai sudut referensi adalah 1,3s, namun respon gerak dari kaki bionik hanya mencapai sudut maksimal 85,4°. *Maximum overshoot*nya senilai 86,86° yaitu 1,709%. Nilai *maximum overshoot* yang dicapai sistem tidak melebihi nilai yang telah ditentukan (dibawah 5%). Nilai *error* yang terjadi senilai 8,4305 dan nilai *error* maksimum yang didapat senilai 89,79 sehingga didapatkan persentase nilai *error* yaitu 9,389%. Nilai *error* yang dihasilkan *prototype* dengan sistem kontrol PI melebihi batas yang telah ditentukan dan menghasilkan gerakan yang sudah baik namun tidak mencapai sudut yang telah ditentukan.



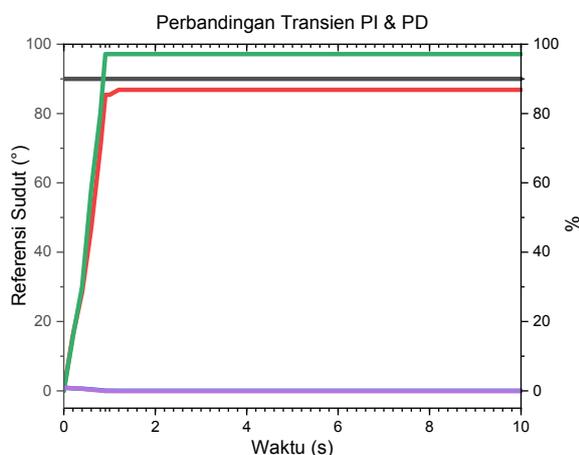
Gambar 8. Grafik Transien Sistem PD

Pada Gambar 8. Garis abu-abu menunjukkan sudut referensi, garis merah menunjukkan respon gerak aktual *prototype* kaki bionik dan garis biru menunjukkan sinyal output error sistem kontrol PD. Ditunjukkan pada grafik bahwa respon dari gerak aktual motor DC mengalami *delay time* yang cukup lama. Waktu yang diperlukan untuk mencapai sudut referensi adalah 0,91s dan langsung mengalami kestabilan dengan sudut 97,15°. *Maximum overshoot*nya senilai 97,15° yaitu 7,944%. Nilai *maximum overshoot* yang dicapai sistem sangat melebihi nilai yang telah ditentukan (dibawah 5%). Nilai *error* yang terjadi senilai -1,342 dan nilai *error* maksimum yang didapat senilai 90,107 sehingga didapatkan persentase nilai *error* yaitu -1,489%. Nilai *error* yang dihasilkan *prototype* dengan sistem kontrol PD tidak sesuai dengan nilai *error* yang diinginkan karena nilainya negatif dan menghasilkan respon gerakan melebihi dari sudut yang telah ditentukan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Transien Bagian Lutut

Parameter	PI	PD
Maximum overshoot (%)	6,079	22,78
Error (%)	21,176	-5,441
Settle time (s)	3	2

Dari Tabel 2 pengujian gerak *prototype* dengan sistem kontrol PI & PD mendapatkan maximum overshoot, persentase error, dan settle time pada bagian lutut senilai 6,079%, 21,176%, dan 3s berturut-turut pada PI, sedangkan PD senilai 22,78%, -5,441%, dan 2s berturut-turut.



Gambar 9. Grafik Perbandingan sistem PI & PD

Pada sistem kontrol PID terdapat parameter k_p yang berlaku sebagai penguat (*gain*) yang memberikan pengaruh pada *error*, dimana semakin besar nilai *error* maka semakin besar sinyal kendali. Parameter k_i berfungsi untuk memperbaiki *steady-state* sehingga grafik respon transien dengan sistem kontrol PID lebih stabil dibandingkan dengan gerak motor DC dengan sistem kontrol sederhana. Parameter k_d 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 akan terjadi.

5. Kesimpulan

Dari kesimpulan yang didapat berdasarkan penelitian perancangan sistem kontrol PID pada *prototype* kaki bionik berbasis Matlab/Simulink sebagai berikut.

1. Parameter yang didapat dari perancangan sistem kontrol pada *prototype* kaki bionik adalah untuk PI $K_p = 2$, $K_i = 18$ dan untuk PD $K_p = 2$, $K_d = 0.5$.
2. Gerak *prototype* dengan sistem kontrol PI memiliki nilai *maximum overshoot*, persentase *error*, dan *settle time* pada bagian lutut senilai

6,079%, 21,176%, dan 3s berturut-turut; Sedangkan pada bagian pergelangan kaki senilai 22,78%, -5,441%, dan 2s berturut-turut.

3. Gerak *prototype* dengan sistem kontrol PI cenderung tidak mencapai referensi karena tidak ada k_d sebagai pengkoreksi sistem. Begitu juga dengan PD dimana gerak aktual melebihi sudut referensi yang ditentukan karena tidak ada k_i sebagai penstabil sistem. k_p , k_i , dan k_d yang berfungsi sebagai penguat sinyal, memperbaiki *steady-state*, dan mengantisipasi *error* yang akan terjadi.

Pemberian saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu: pada *prototype* disarankan pemilihan material bahan rangka yang lebih ringan dan servo motor yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] Xu, Xiaodong, et.al., 2013, *Robust Bio-Signal Based Control of an Intelligent Wheelchair*, 2: 187-97, MDPI, Robotics, Singapore.
- [2] F. Gretsch, et.al., 2015, *Development of Novel 3D-Printed Robotic Prosthetic for Transradial Amputees*, ISPO International Society for Prosthetics And Orthotics, Prosthetics and Orthotics International, 1-4, England.
- [3] Cho, Erina, et.al., 2016, *Force Myography to Control Robotic Upper Extremity Prostheses: A Feasibility Study*, 18,4: 12, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, London.
- [4] Wang, Liuping, et.al., 2015, *Electrical Drives and Power Converters Using MATLAB/Simulink*, 1st ed. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 1 Fusionopolis Walk, #7-01 Solaris South Tower, Singapore.
- [5] B. Marghitu, Dan., 2009, *Mechanisms and Robots Analysis with MATLAB*, 1st ed. 1 123, Mechanical Engineering Department Auburn University 270 Ross Hall Auburn, AL 36849 USA: Springer Dordrecht Heidelberg London New York.



Alpin. Angga Guntara
Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Denpasar, Bali. Konsentrasi Program Studi yang diambil Rekayasa manufaktur. Bidang penelitian yang diminati adalah robotika dan topik-topik yang berkaitan dengan dunia mekatronika.