

Optimasi Performansi Sistem Kontrol Prosthesis Lengan Dengan Menggunakan Metode PID Tuning Dengan MATLAB

Karuna K.S Prasad¹, Ilham Fauzi², I.M.E. Darmayasa Adiputra³, I.M.P. Arya Winata⁴, I.W. Widhiada⁵
[Submission: 11-02-2023, Accepted: 05-03-2023]

Abstract— The arm prosthesis in this study will analyze the control system of one finger with 3 joints, the aim is to determine the optimal performance of the control system for the prosthesis using 3 combinations of software, namely autodesk fusion 360, autodesk inventor as the design of the arm prosthesis, and matlab simulink Simscape Multibody as a simulation of PID tuning with a value of 4.0715 for proportional (P), 99.3021 for integral (I), and 0.039866 for (D) resulting in a movement performance with a rise time of 0.00431 seconds, settling time of 0.026 seconds, and overshoot of 4.76%.

Intisari— Prosthesis lengan pada penelitian ini akan melakukan analisis sistem kontrol salah satu jari yang memiliki 3 joint tujuannya adalah untuk mengetahui performa optimal dari sistem kontrol terhadap prosthesis dengan menggunakan 3 gabungan software yaitu autodesk fusion 360 autodesk inventor sebagai desain prosthesis lengan lalu matlab simulink Simscape Multibody sebagai simulasi tuning PID dengan nilai 4,0715 untuk proportional (P), 99,3021 untuk integral (I), dan 0,039866 untuk (D) menghasilkan performa pergerakan yang memiliki rise time sebesar 0,00431 detik, settling time sebesar 0,026 detik, dan overshoot sebesar 4,76%.

Kata Kunci— prosthesis lengan, PID Controller, Tuning, DC Motor.

I. PENDAHULUAN

Terdapat 15 dari 100 orang di dunia mengalami disabilitas, yakni kondisi individu yang tidak mampu melaksanakan suatu aktivitas secara normal karena kehilangan fungsi tubuh, baik secara psikologi, fisiologi, maupun anatomi[1]. Hambatan berupa kehilangan fungsi bagian tubuh akan menyebabkan kesulitan dalam melakukan kegiatan secara normal. Kegiatan sehari-hari yang membutuhkan banyak gerakan, tentu akan menyulitkan penyandang disabilitas dengan cacat pada bagian tubuh yang memiliki peranan besar dalam mobilitas, seperti anggota gerak tubuh. Hal ini tentu akan berdampak pada terhambatnya kegiatan sosial yang hendak dilakukan oleh penyandang[2]. Terlebih lagi anggota gerak tubuh, khususnya lengan dan tangan, mengambil andil penting dalam sebagian

besar aktivitas manusia[3]. Tidak sedikit penyandang disabilitas ini merupakan pasien yang telah melalui proses amputasi lengan dan tangan akibat cedera dari kecelakaan besar. Studi yang dilaksanakan oleh [4] bahkan menunjukkan bahwa salah satu kawasan yang memiliki angka amputasi tinggi berada di Asia Tenggara.

Teknologi prosthetik telah memberikan manfaat yang signifikan bagi penyandang disabilitas amputasi lengan [5]. Penggunaan prosthetis lengan dapat membantu penyandang disabilitas amputasi lengan untuk melakukan aktivitas sehari-hari dengan lebih mandiri dan memperoleh kembali rasa percaya diri [6]. Penggunaan prosthesis lengan juga dapat memperbaiki kualitas hidup dan meningkatkan partisipasi sosial bagi penyandang disabilitas amputasi lengan[7]. Namun, pada penggunaan prosthesis lengan masih memiliki beberapa kendala dalam mengendalikannya. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas teknologi prosthetik adalah mengembangkan sistem kontrol yang lebih baik [7]. Sistem kontrol berbasis sinyal otot pada prosthesis lengan juga dapat dikombinasikan dengan algoritma kontrol adaptif untuk meningkatkan presisi gerakan [8]. Salah satu kontrol adaptif yang digunakan adalah algoritma MRAC (*model reference adaptive control*).

Pemodelan dari prosthesis tangan telah melalui minat penelitian yang signifikan diantara para peneliti. Desain prosthesis lengan yang dibuat oleh Rossini dkk dikendalikan untuk mengendalikan tangan biomekanik yang terkoneksi oleh system saraf dengan menghubungkan elektroda pada saraf manusia[9]. Penggunaan DC motor pada prosthesis lengan memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap gerakan lengan [10]. Berbagai metode tuning transfer function dari model lengan diimplementasikan ke dalam model dinamik dari prosthetik lengan pasien yang lengan bagian atasnya diamputasi. *Tuning* PID dan *robust control* digunakan untuk mengoptimalkan sistem kontrol pada prosthesis lengan [11]. Penggunaan PID dan kontrol adaptif dengan model referensi digunakan untuk mengontrol prosthesis lengan dengan tujuan meningkatkan kinerja stabilitas sistem kontrol [12]. Sementara pada penggunaan *robust control* pada sistem prosthesis lengan dapat meningkatkan kestabilan sistem dan mengurangi kesalahan dalam gerak[13]. Ketidakpastian sistem dan gangguan sistem pada prosthesis lengan juga dapat diatasi dengan metode *robust control* [14].

Target dari paper ini adalah untuk mengontrol pergerakan jari dari prosthetik tangan dengan menggunakan controller

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (e-mail: iamkaruna09@gmail.com)

^{2, 3, 4} Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (e-mail: ilhamg2216@gmail.com, esa.darmayasa@gmail.com, aryaw2001@gmail.com)

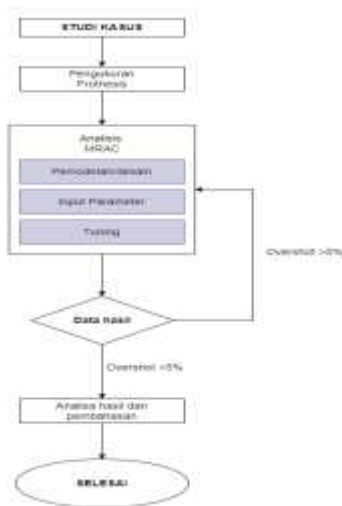
⁵ Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (e-mail: wynwidhiada@unud.ac.id)



adaptif dan referensi model yang diinginkan. Metodologi yang digunakan adalah desain kontroller adaptif yang disesuaikan dengan mekanisme adaptasi menggunakan *MRAC* untuk menyelesaikan masalah pada prosthetik tangan yang terkait dengan proses *mass-damp-spring* dan masalah sistem yang tidak pasti[15],[16].

II. METODE

Kegiatan penelitian ini dirancang dengan metode sebagai berikut: persiapan studi yaitu dilakukan dengan membaca literatur berkaitan dengan metode digunakan. kemudian melakukan desain 3D menggunakan *software* fusion 360. Langkah selanjutnya meng-*import* desain lalu di-*assembly* pada *software* Autodesk Inventor untuk di-*export* ke dalam format file MATLAB yaitu xml. Kemudian buka file tersebut pada Simulink Simscape Multibody tambahkan pemodelan *transfer function* DC Motor yang sudah diintegrasikan dengan blok *PID controller* yg dihubungkan ke *joint* yg terdapat pada desain. Lakukan beberapa tuning pada *PID controller* sampai *rising time*, *overshoot*, dan *settling time* optimal. Data hasil simulasi *Simscape Multibody*.



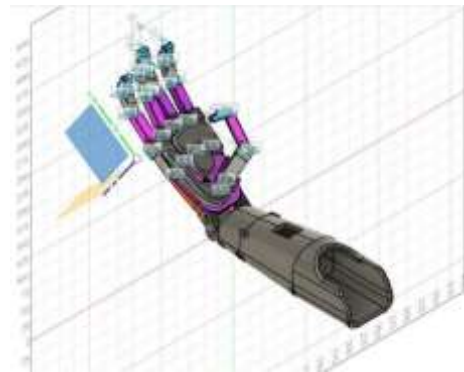
Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.1 Desain

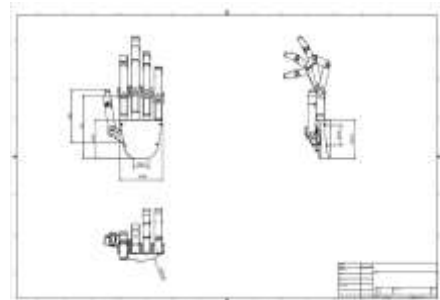
Desain prosthetik ini menggunakan *software* Autodesk Fusion 360. Hal ini dikarenakan keunggulan *software* yang memiliki fitur *teamwork* sehingga pembuatan desain 3D model prosthetik lengan lebih cepat karna dikerjakan bersama-sama. Namun, Autodesk Fusion 360 tidak dapat dihubungkan secara langsung ke *software* MATLAB untuk sistem kontrolnya di analisa. Maka dari itu dibutuhkan *software* desain yang dapat dihubungkan dengan *software* MATLAB seperti Autodesk Inventor. Langkah-langkah dalam pemodelan sebagai berikut:

- Membuat 3D model semua *part* prosthetik lengan dari Fusion 360
- Import file 3D model semua *part* dari Fusion 360 ke Inventor
- Melakukan *assembly part* di Inventor

- Export* file assembly dari Inventor ke file yg memiliki format .xml agar dapat di baca oleh *software* MATLAB.



Gambar 2. 3D Prosthesis Lengan



Gambar 3. Gambar kerja prosthesis lengan

2.2 MATLAB Simscape Multibody

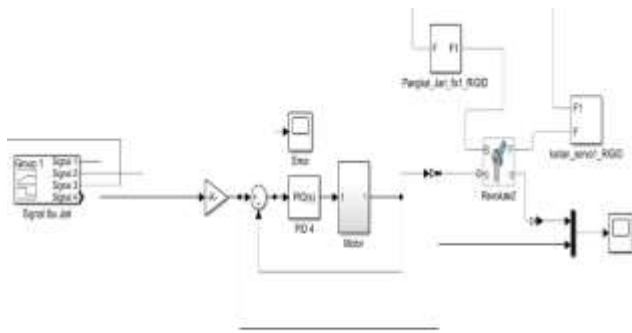
Simulasi *Simscape Multibody* digunakan untuk mengoptimalkan sistem kontrol adaptif dari prosthetik lengan yang sudah di desain. Pada paper ini digunakan *software* MATLAB dengan metode *MRAC PID Controller*.

- Import* file *assembly* prosthetik lengan yang sudah berformatkan xml.
- Membuat subsistem pemodelan *transfer function* DC motor dan menginput semua nilai dari elemen yg terdapat pada *transfer function*.
- Integrasikan subsistem DC Motor dengan *PID controller* dan *scope* untuk membuat sistem kontrol yang akan di hubungkan ke *joint*.
- Berikan *input signal* ke *joint* melewati sistem kontrol sesuai dengan pergerakan yang diinginkan.
- Lakukan tuning pada *PID controller* untuk memperoleh performa sistem kontrol yang optimal atau setidaknya memiliki *overshoot* sebesar 5% atau lebih kecil.
- Jalankan simulasi dengan menekan ikon 'run' untuk melihat pada grafik *scope* terkait perbandingan antara *signal input* dan kinerja *output* dari prosthetik tangan.

Dalam metode *PID*, pemodelan sistem sangatlah penting[17]. Sistem kontrol *close-loop* dan *open-loop* dapat mempengaruhi hasil kinerja yang akan diperoleh. Pada

Karuna K.S Prasad: Optimasi Performansi Sistem Kontrol...

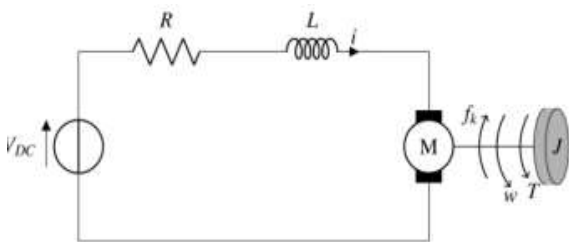
rangkaian blok yang digunakan bersifat *open loop* seperti Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Blok Simulink sistem kontrol DC Motor *open-loop*.

2.3 Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus listrik searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanis [18]. Motor DC bekerja berdasarkan prinsip medan magnet yang berputar, dimana arus listrik menghasilkan medan magnet berinteraksi dengan medan magnet tetap untuk menghasilkan gaya gerak[19]. Pemodelan Motor DC ditunjukkan ke dalam rangkaian ekuivalen seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Ekuivalen Motor DC

Untuk menggerakkan *joint* dari jari prosthesis, terdapat DC servo motor untuk menggerakannya. Pemodelan Motor DC dapat di peroleh dengan analisa secara mekanikal dan elektrik[20]. Secara elektrikalnya, hokum yang digunakan adalah Hukum Tegangan Kirchoff dengan persamaan,

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + K_e \omega(t) = v(t) \quad (1)$$

Persamaan (1) diubah ke domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace menjadi:

$$I(s) = \frac{V(s).K_e \omega(s)}{(Ls+R)} \quad (2)$$

Karuna K.S Prasad: Optimasi Performansi Sistem Kontrol...

Sedangkan secara mekanikal didasarkan pada gerak rotasi dari Hukum Newton II yang mana persamaannya yaitu:

$$K_t i(t) - K_b \omega(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

Persamaan (3) diubah ke domain frekuensi menggunakan transformasi Laplace menjadi:

$$K_t I(s) = (Js + K_b) \omega(s) \quad (4)$$

Sehingga gabungan persamaan elektrik dan mekanikal berubah menjadi pemodelan matematika yang digunakan untuk DC servo motor sebagai berikut.

$$\frac{\theta(s)}{Ea(s)} = \frac{K_{tn}}{s[L_a J s^2 + (L_a f + R_a f) + K_{tn} K_b]} \quad (5)$$

Dimana,

Ra= resistor, ohm

La= induktansi, Henry

ia= arus, ampere

ea= tegangan listrik yg diberikan, volt

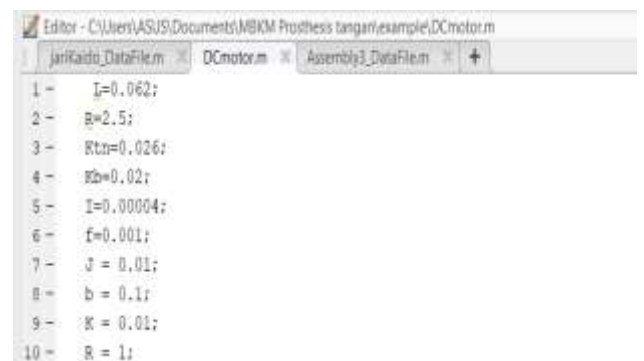
eb= *feedback* tegangan listrik, volt

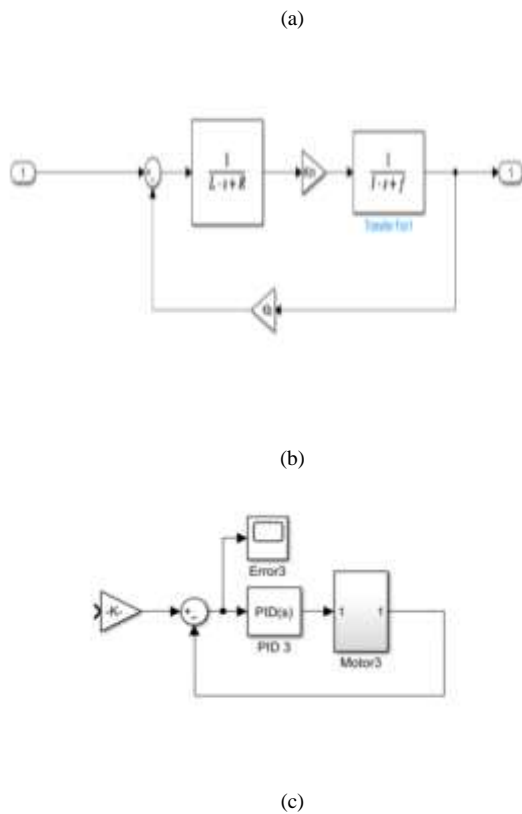
T= torsi motor, N-m

J= momen inersia motor, kg-m²

f= koefisien viskos motor dan muatan, N-/rad/s

Persamaan (5) adalah model matematika yang dimasukan kedalam *transfer function* dc motor yang akan menggerakkan semua *link* pada jari. Model matematika diaplikasikan kedalam *block Simulink* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.





Gambar 6. Pemodelan Sistem Kontrol *Block Simulink Transfer Function* DC Motor (a) nilai parameter pada persamaan model matematika DC Motor (b) Pemodelan *Block Transfer Function* DC Motor (c) Pemodelan Sistem Kontrol

2.4 Tuning dan Robust Control

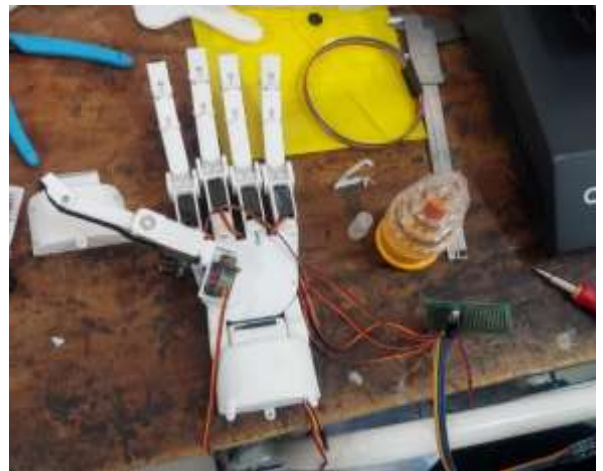
Kontrol tangan robot bertanggung jawab untuk memastikan yang digenggam tangan dengan kuat dan jari yang sesuai di hadapan kekuatan eksternal yang diterapkan pada objek [21]. *Tuning* PID adalah proses mengatur parameter kontroler PID (Proporsional-Integral-Derivatif) agar dapat bekerja dengan baik pada sistem kontrol pada prosthesis lengan yang diinginkan.

Untuk mencapai hasil yang optimal, *tuning* PID dan *robust control* seringkali dilakukan bersama-sama. Dengan menggunakan teknik *tuning* PID yang tepat, sistem kontrol dapat dioptimalkan agar dapat bekerja dengan baik pada kondisi normal. Selain itu, dengan menggunakan teknik *robust control*, sistem kontrol juga dapat dioptimalkan agar dapat bekerja dengan baik pada kondisi yang tidak normal atau tidak terduga. *Robust control* biasanya digunakan pada sistem yang memiliki parameter yang tidak pasti atau bervariasi, sehingga dapat menangani perubahan-perubahan tersebut dengan baik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

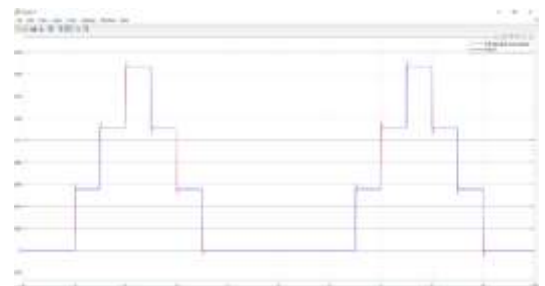
Analisis sistem kontrol dari prosthesis lengan dilakukan dengan MATLAB software *Simulink Simscape Multibody*. Untuk mengamati respon system, sinyal input yang telah diberikan kepada sistem dalam keadaan *open-loop*, yang mana



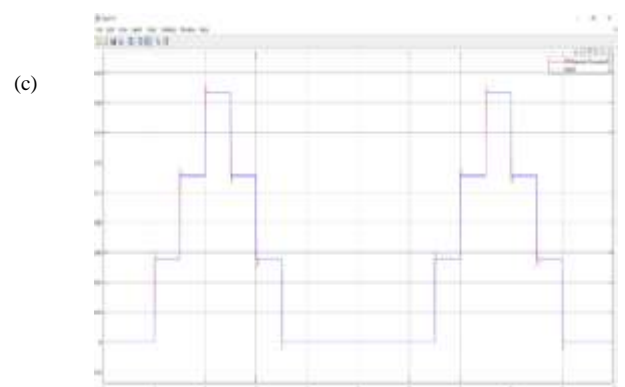
Gambar 7. Eksperimen prosthetis lengan



(a)



(b)



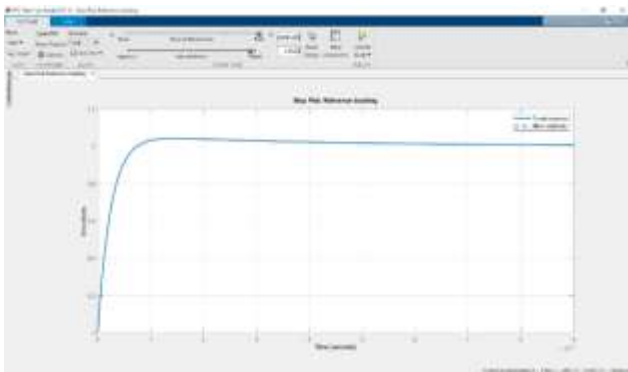
(c)

Gambar 8. Perbandingan Respon Sistem Kontrol dan Sinyal *Input* (a) *Joint* ujung jari (b) *Joint* bagian Tengah Jari (c) *Joint* Pangkal Jari.

nantinya akan diimplementasikan dalam sistem kontrol *close loop*. Parameter sistem kontrol pertama-tama diperoleh menggunakan metode *auto-tuning*. Kemudian parameter yang diperoleh akan digunakan sebagai nilai awal dalam metode optimisasi penurunan gradien. Pada Gambar 7 diperoleh hasil perbandingan respon sistem kontrol yang berupa garis yang berwarna merah dengan *signal input* yang berupa garis yang berwarna biru.

A. Hasil PID

Tuning PID adalah proses mengoptimalkan parameter kontroler PID (Proporsional-Integral-Derivatif) agar sistem yang dikontrol dapat beroperasi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada *tuning* desain prosthesis lengan ini diperoleh nilai kontrol parameter PID sebagai berikut.



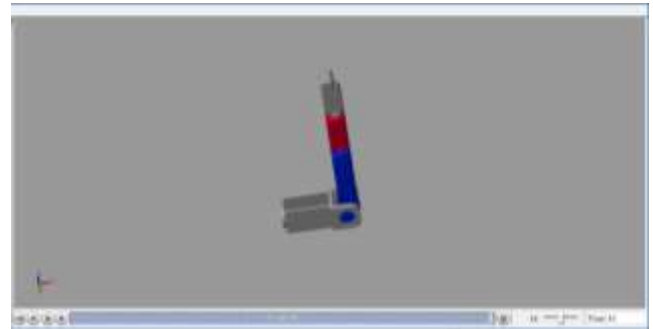
Gambar 9. Proses *Tuning* PID

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	118.5615	118.5615
I	3836.8524	3836.8524
D	0.4025	0.4025
N	483408.6264	483408.6264

Gambar 9. Nilai Masing-Masing PID Setelah *Tuning*

B. Performa dan *Robustness*

Performa dari sistem kontrol dengan PID yang sudah di *tuning* dapat dilihat melalui simulasi visual pada Gambar 10. Dalam simulasinya, jari akan bergerak sesuai dengan sinyal *input* dengan kekokohan atau *robustness* yang telah disesuaikan melalui *tuning* PID.



Gambar 10. Simulasi Visual Pergerakan *Simscape Multibody* dari *Assembly* Jari

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.000451 seconds	0.000451 seconds
Settling time	0.00436 seconds	0.00436 seconds
Overshoot	4.12 %	4.12 %
Peak	1.04	1.04
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	86.4 deg @ 4.23e+03 r...	86.4 deg @ 4.23e+03 r...
Closed-loop stability	Stable	Stable

Gambar 11. Performa *Rise Time*, *Settling Time*, dan *Overshoot* Sistem Kontrol.

Berdasarkan hasil *tuning* PID yang dilakukan pada salah satu *assembly* jari dengan tiga jumlah *joint* memperoleh *rise time* 0,00431 detik, *settling time* 0.026 detik, dan *overshoot* sebesar 4,76%. Berarti, performa terbaik yang dapat dilakukan oleh sistem kontrol terhadap jari prosthesis lengan karena semakin kecil nilai dari *rise time*, *settling time* dan *overshoot* yang terjadi pada suatu sistem kontrol, semakin stabil dan semakin cepat respon dari input yang diberikan. Tingkat kekokohan atau *robustness* juga mempengaruhi ketiga performa dan nilai PID sistem kontrol dimana dibutuhkan kekokohan yang tepat agar pergerakan jari prosthetis sesuai dengan keinginan karna semakin tinggi tingkat kekokohan semakin kecil nilai *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* yang diperoleh.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari penerapan sistem kontrol PID pada prosthesis lengan dengan menggunakan *Simulink simscape Multibody* dapat meningkatkan kinerja gerakan robot tangan dengan *overshoot* sebesar 4,76%, *rise time* sebesar 0,00431 detik, *settling time* sebesar 0,026 detik. Peningkatan kinerja Gerakan robot berpengaruh terhadap kekokohan dari *prosthesis* tangan.



Untuk mendapatkan hasil simulasi sistem kontrol yang lebih terperinci dan baik dengan MATLAB *Simscape Multibody* diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan perangkat hardware yang lebih memadai agar mampu mengimport assembly dari Autodesk Inventor ke format file MATLAB yaitu xml karena perangkat yang digunakan oleh penulis paper ini mengalami berbagai kendala dalam proses tersebut. Perlu diadakan penelitian perhitungan lanjut untuk performa sistem prosthetis lengan yang lebih baik serta model ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan penelitian pengembangan prosthetis lengan selanjutnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemenristekdikti atas bantuan dana penelitian melalui program MBKM penelitian hibah internal 2022 yang dibiayai melalui LPPM Universitas Udayana. Yang ke lima penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana Dan mitra Puspadi Bali atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] WHO, "Global report on health equity for persons with disabilities," 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health> (accessed Dec. 11, 2022).
- [2] S. S. Noland, A. T. Bishop, R. J. Spinner, and A. Y. Shin, "Adult Traumatic Brachial Plexus Injuries," *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, vol. 27, no. 19. 2019. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00433.
- [3] I. Vujaklija, D. Farina, and O. C. Aszmann, "New developments in prosthetic arm systems," *Orthopedic Research and Reviews*, vol. 8. Dove Medical Press Ltd., pp. 31–39, Jul. 07, 2016. doi: 10.2147/ORR.S71468.
- [4] I. A. Satam and I. A. Satam, "Review Studying of the Latest Development of Prosthetic Limbs Technologies," *Int J Sci Eng Res*, vol. 12, 2021, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>
- [5] L. A. Miller *et al.*, "Control of a Six Degree of Freedom Prosthetic Arm After Targeted Muscle Reinnervation Surgery," *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 89, no. 11, pp. 2057–2065, Nov. 2008, doi: 10.1016/J.APMR.2008.05.016.
- [6] A. Kelleher, B. Dicianno, S. Eckstein, R. Schein, J. Pearlman, and R. Cooper, "Consumer Feedback to Steer the Future of Assistive Technology Research and Development: A Pilot Study," *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, vol. 23, pp. 89–97, Feb. 2017, doi: 10.1310/sci2302-89.
- [7] M. S. Widodo and W. Jatmiko, "Design of prosthesis arm control based on microcontroller," *J Phys Conf Ser*, vol. 1363, 2019.
- [8] M. S. Al-Smadi and S. Y. Ababneh, "Real-time model reference adaptive control for upper-limb prosthetic device.," *Appl Bionics Biomech*, 2019.
- [9] Laure Anne Pessina, "A prosthetic that restores the sense of where your hand is," Jun. 04, 2019. wevolver.com/article/a-prosthetic-that-restores-the-sense-of-where-your-hand-is (accessed Jan. 08, 2023).
- [10] T. M. Wang, "The application of DC motor control on the robotic arm.," *In Proceedings of the 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, 2017.
- [11] J. A. Lie, T. D. Wulandari, and H. Kurniawan, "Tuning PID dan Robust Control pada Sistem Kontrol Gerakan Prosthesis Lengan Berbasis Motor DC.," *Jurnal Pendidikan Vokasi*, vol. 8(3), 2018.
- [12] B. Harsono, A. Setiyawan, and M. Rifa'i, "Pengontrolan Prosthesis Lengan dengan Metode Kontrol Adaptif dan PID.," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 8(2), 2019.
- [13] M. A. Al-Faaham, M. A. Al-Dabbas, and M. Al-Rousan, "Performance Enhancement of Upper-Limb Prosthetic Control Using Robust Control.," *SN Comput Sci*, vol. 1(5), 2020.
- [14] D. Suryadi, M. Ardiansyah, and Y. Khairi, "Robust control method to improve the performance of an upper-limb prosthetic.," *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, 2019.
- [15] B. Neogi, S. K. S. Islam, P. Chakraborty, S. Barui, and A. Das, "Introducing MIT rule toward improvement of adaptive mechanical prosthetic arm control model," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 518, pp. 379–388. doi: 10.1007/978-981-10-3373-5_38.
- [16] J. Zhang, M. Zhang, W. Shi, and Y. Gu, "Robust Control of an Upper Limb Prosthesis Using an Interval Model.," *IEEE Access*, vol. 8, 2020.
- [17] G. Dewantoro, D. Susilo, and P. Pideksa Adi, "Implementasi Pengendali Logika Fuzzy pada Navigasi Robot Penjejak Dinding.," *Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 02, 2017.
- [18] Komponen, "Teori Motor Dc dan Jenis-Jenis Motor DC," *Teori Elektronika*, 2022. Teori Motor DC Dan Jenis-Jenis Motor DC Read more at: <http://elektronika-dasar.web.id/teori-motor-dc-dan-jenis-jenis-motor-dc/> Copyright © Elektronika Dasar
- [19] M. A. Alharbi, H. A. Al-Mashary, and A. Y. Al-Nasheri, "High-Performance Speed Control of a DC Motor Based on PI Control.," *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 32(2), 221-232, 2021.
- [20] A. N. Aliansyah, N. Nurhayati, S. N. Jaya, L. Pagiling, W. O. S. N. Alam, and M. N. A. Nur, "Analisis Tuning Parameter PID Menggunakan Algoritma Genetika pada Pengontrolan Kecepatan Motor DC.," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 2, p. 287, Dec. 2022. doi: 10.24843/mite.2022.v21i02.p17.
- [21] W. Widhiada, T. G. T. Nindhia, and N. Budiarsa, "Robust Control for the Motion Five Fingered Robot Gripper," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 226-232, 2015.