

Bab 5

Simpulan dan Saran

Dalam bab ini dipaparkan simpulan untuk menjawab identifikasi masalah dari Tugas Akhir ini. Selain itu, terdapat saran untuk pengembangan penelitian Tugas Akhir ini berdasarkan berdasarkan simulasi dan pengujian selama pengerjaan Tugas Akhir.

5.1 Simpulan

Pada akhir Buku Tugas Akhir, terdapat beberapa simpulan yang dapat dipaparkan dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Telah ditentukan model kinematika tangan prostetik dengan jumlah 25 derajat kebebasan (25 DOF). Model kinematika tersebut ditentukan berdasarkan fisiologi tangan manusia dan fungsionalitasnya dalam menggenggam. Melalui analisis DH, didapatkan tabel DH yang berisikan parameter yang mendefinisikan model kinematika setiap jari pada tangan prostetik. Berdasarkan parameter DH yang telah didapatkan dari setiap jari pada tangan, didapatkan matriks transformasi homogenus yang mendeskripsikan pose dari ujung jari terhadap *base* masing-masing jari. Hasil matriks transformasi homogenus tersebut kemudian dilakukan transformasi agar koordinat yang semulanya bersifat lokal, menjadi global. Kemudian model kinematika disimulasikan untuk melihat pergerakan model kinematika melalui *SynGrasp*.
2. Telah berhasil dirancang simulator yang dapat menguji hasil desain *SolidWorks* untuk menampilkan pergerakan desain. Simulator tersebut dirancang

dengan menghubungkan perangkat lunak *SolidWorks* dan *MATLAB* melalui toolbox *Simscape Multibody*.

3. Telah berhasil dirancang sebuah purwarupa tangan prostetik. Purwarupa tangan prostetik dilengkapi dengan mekanisme gerak sederhana menggunakan tali rami dan senar elastis dengan penggerak berupa *servo motor* yang dikendalikan oleh sebuah *arduino uno*.
4. Dikarenakan purwarupa masih bersifat *openloop*, maka tidak dapat ditentukan dengan pasti magnituda kesalahan/error saat pengukuran dilakukan, sehingga hasil yang didapatkan merupakan estimasi .

5.2 Saran

Adapun saran pengembangan yang dapat direkomendasikan untuk pengembangan penelitian berdasarkan simulasi dan pengujian adalah sebagai berikut:

1. **Melakukan penentuan solusi *inverse kinematics*.** Dalam penelitian ini belum dilakukan penentuan solusi *inverse kinematics* karena hanya berfokuskan pada penentuan solusi *forward kinematics*.
2. **Pengembangan Sistem Penggerak.** Sistem penggerak purwarupa masih mengandalkan servo motor yang menerima input dari arduino yang harus diatur secara berkala ketika ingin mengubah sudut pada servo motor.
3. **Mendesain Ulang Tangan Prostetik.** Purwarupa yang digunakan selama pengujian berfokuskan pada gerakan *Flexion* dan *Extension*.
4. **Melakukan pengolahan citra untuk melacak pergerakan tangan.** Proses pengolahan citra dilakukan pada citra hasil tangkapan saat tangan prostetik dalam keadaan diam (setelah servo mencapai titik tertentu).
5. **Mengembangkan pengolahan citra agar mampu melacak posisi dari seluruh ujung jari.** Pada pengujian dan penerapan pengolahan citra, hasil pengolahan citra hanya dapat menentukan posisi dari satu ujung jari saja.
6. **Mengembangkan Sistem Kendali Purwarupa.** Purwarupa yang digunakan selama pengujian masih bersifat open loop sehingga tidak dapat ditentukan dengan pasti nilai error pada pergerakan jari.

Daftar Pustaka

- [1] “Hands adult: Passive hand, left-dark beige,” <https://www.rehabimpulse.org/index.php/products/prosthetic/hands/hands-adult/hand,-size-l,-left,-darkbeige-detail>, diakses pada: 05-11-2021.
- [2] J. Schmerler, “Tomorrow’s prosthetic hand,” <https://www.scientificamerican.com/article/tomorrow-s-prosthetic-hand/>, diakses pada: 05-11-2021.
- [3] Personal Communication.
- [4] M. H. Swartz, *Textbook of Physical Diagnosis: History and Examination*, 7th ed. Elsevier Saunders, 2014.
- [5] J. J. Craig, *Introduction to robotics: mechanics and control*, 3/E. Pearson Education India, 2009.
- [6] R. N. Jazar, *Theory of applied robotics: kinematics, dynamics, and control*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [7] J. Angeles and J. Angeles, *Fundamentals of robotic mechanical systems*. Springer, 2002, vol. 2.
- [8] E. Peña Pitarch, *Virtual human hand: Grasping strategy and simulation*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2008.
- [9] S. I. Gulo, *Perancangan Kontrol Pelacakan Lintasan untuk Robot Otonom Bergerak Beroda dengan Penggerak Diferensial*. Universitas Katolik Parahyangan, Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, 2021.
- [10] A. N. A. Rahim, “Nazree’s modular prosthetic terminal device,” <https://grabcad.com/library/nazree-s-prosthetic-hand-1>, diakses pada: 06-12-2021.

- [11] B. Maat, G. Smit, D. Plettenburg, and P. Breedveld, "Passive prosthetic hands and tools: A literature review," *Prosthetics and orthotics international*, vol. 42, no. 1, pp. 66–74, 2018.
- [12] R. Clement, K. E. Bugler, and C. W. Oliver, "Bionic prosthetic hands: A review of present technology and future aspirations," *The surgeon*, vol. 9, no. 6, pp. 336–340, 2011.
- [13] A. Miller, P. Allen, V. Santos, and F. Valero-Cuevas, "From robotic hands to human hands: a visualization and simulation engine for grasping research," *Industrial Robot: An International Journal*, 2005.
- [14] V. Ivan, *Perancangan Tangan Prostetik Elektrik Berbasis Motor Servo dan Arduino*. Universitas Katolik Parahyangan, Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, 2021.
- [15] M. Malvezzi, G. Gioioso, G. Salvietti, D. Prattichizzo, and A. Bicchi, "Syngrasp: A matlab toolbox for grasp analysis of human and robotic hands," in *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. IEEE, 2013, pp. 1088–1093.
- [16] I. Albrecht, J. Haber, and H.-P. Seidel, "Construction and animation of anatomically based human hand models," in *Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*. Citeseer, 2003, pp. 98–109.
- [17] R. Tubiana, J. Thomine, and E. Mackin, "Examination of the hand and wrist. martin dunitz. isbn: 1853175447," *Publisher: Informa Healthcare*, 1996.
- [18] S. Bunnell, "Opposition of the thumb," *JBJS*, vol. 20, no. 2, pp. 269–284, 1938.
- [19] S. Haslegrave, C. M.; Pheasant, *Bodyspace: anthropometry, ergonomics, and the design of work*, 3rd ed. Taylor & Francis, 2006.
- [20] B. Buchholz, T. J. Armstrong, and S. A. Goldstein, "Anthropometric data for describing the kinematics of the human hand," *Ergonomics*, vol. 35, no. 3, pp. 261–273, 1992.
- [21] J. Meriam and L. Kraige, *Engineering Mechanics: Statics: Statics*. Wiley Global Education, 2011.

- [22] A. C. Reddy, "Difference between denavit-hartenberg (dh) classical and modified conventions for forward kinematics of robots with case study," in *International Conference on Advanced Materials and manufacturing Technologies (AMMT)*. JNTUH College of Engineering Hyderabad Chandigarh, India, 2014, pp. 267–286.
- [23] K. M. Lynch and F. C. Park, *Modern robotics*. Cambridge University Press, 2017.
- [24] P. Corke, *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB® second, completely revised*. Springer, 2017, vol. 118.
- [25] S. Huang and G. Dissanayake, "Robot localization: An introduction," *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1–10, 1999.
- [26] B. Chitradevi and P. Srimathi, "An overview on image processing techniques," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 2, no. 11, pp. 6466–6472, 2014.
- [27] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart, "A toolbox for easily calibrating omnidirectional cameras," in *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2006, pp. 5695–5701.
- [28] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330–1334, 2000.
- [29] Mathworks, "Computer vision system toolbox user's guide," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 2, no. 11, 2015.
- [30] N. Shahrubudin, T. C. Lee, and R. Ramlan, "An overview on 3d printing technology: Technological, materials, and applications," *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 1286–1296, 2019.
- [31] J. S. Miller, K. R. Stevens, M. T. Yang, B. M. Baker, D.-H. T. Nguyen, D. M. Cohen, E. Toro, A. A. Chen, P. A. Galie, X. Yu *et al.*, "Rapid casting of patterned vascular networks for perfusable engineered three-dimensional tissues," *Nature materials*, vol. 11, no. 9, pp. 768–774, 2012.
- [32] M. S. Mannoor, Z. Jiang, T. James, Y. L. Kong, K. A. Malatesta, W. O. Soboyejo, N. Verma, D. H. Gracias, and M. C. McAlpine, "3d printed bionic ears," *Nano letters*, vol. 13, no. 6, pp. 2634–2639, 2013.

- [33] J. Ten Kate, G. Smit, and P. Breedveld, "3d-printed upper limb prostheses: a review," *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 300–314, 2017.
- [34] C. Schubert, M. C. Van Langeveld, and L. A. Donoso, "Innovations in 3d printing: a 3d overview from optics to organs," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 98, no. 2, pp. 159–161, 2014.
- [35] "The raptor hand - enabling the future," <http://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/the-raptor-hand/>, diakses pada: 10-12-2021.
- [36] R. Khurmi and J. Gupta, *A textbook of machine design*. S. Chand publishing, 2005.
- [37] Z. Z. Tian, M. D. Kyte, and C. J. Messer, "Parallax error in video-image systems," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 128, no. 3, pp. 218–223, 2002.