

Tangan Bionik Sebagai Teknologi Tepat Guna Untuk Penyandang Tunadaksa Berbasis 3D Printing

Rufaida Fatkhul Janna¹, Amalia C. Nur'Aidha^{1*}, Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati¹

¹Teknik Biomedis, Universitas PGRI Yogyakarta; rufaidahfatkhuljannah@gmail.com, dhananjaya@upy.ac.id

*Korespondensi: amalia@e-mail.comupy.ac.id

Abstract – Physically impaired is a condition in which the physical structure is altered in a way that disrupts the body's ability to perform essential movements. Individuals facing a disability are often faced with social neglect due to prevailing negative perceptions, resulting in decreased self-confidence, and becoming more passive in social interactions rather than being an active part of society. This research aims to provide more affordable technological solutions for individuals with disabilities through the development of a bionic hand that can be controlled with a high level of accuracy. This bionic hand is designed to overcome the obstacles encountered in performing movements such as lifting, opening, and closing finger activities that can generally be performed by a normal hand. The achievement of this research goal is based on the application of 3D printing technology that produces a bionic hand through PLA material. Based on the test results, the bionic hand showed a good ability to lift and move each finger with an accuracy of about 90%. The movements of these fingers appeared natural and realistic, with responses to commands being fast and without significant delay. Although there was a slight vibration in some movements, this could be corrected with optimization programs or mechanical improvements. From the delay test results, the movement of the fingers of the bionic hand printed using 3D printing and controlled by Arduino uno with servo motor actuators showed a high degree of accuracy, with a small time difference between expected and measured, indicating good performance in moving the fingers of the bionic hand.

Keywords – bionics, physically impaired, 3d printing

Intisari – Tunadaksa adalah kondisi di mana struktur fisik mengalami perubahan yang mengakibatkan terganggunya fungsi tubuh untuk melakukan gerakan yang esensial. Individu yang menghadapi kondisi tuna daksa sering kali dihadapkan pada pengabaian sosial akibat persepsi negatif yang masih berlaku, sehingga menghasilkan penurunan rasa percaya diri, dan menjadi lebih pasif dalam interaksi sosial daripada menjadi bagian aktif dalam bermasyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan solusi teknologi yang lebih terjangkau bagi individu dengan disabilitas melalui pengembangan tangan bionik yang mampu dikendalikan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Tangan bionik ini dirancang untuk mengatasi kendala yang dihadapi dalam melakukan gerakan seperti mengangkat, membuka, dan menutup jari aktivitas yang umumnya dapat dilakukan oleh tangan yang normal. Pencapaian tujuan penelitian ini didasarkan pada penerapan teknologi pencetakan 3D yang menghasilkan tangan bionik melalui bahan PLA. Berdasarkan hasil pengujian, tangan bionik menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengangkat dan menggerakkan setiap jari dengan akurasi sekitar 90%. Gerakan jari-jari ini tampak alami dan realistis, dengan respons terhadap perintah yang cepat dan tanpa penundaan yang signifikan. Meskipun terdapat sedikit getaran pada beberapa gerakan, hal ini dapat diperbaiki dengan program pengoptimalan atau perbaikan mekanis. Dari hasil uji *delay*, pergerakan jari tangan bionik yang dicetak menggunakan pencetakan 3D dan dikontrol Arduino Uno dengan aktuator motor servo menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan selisih waktu yang kecil antara yang diharapkan dan yang terukur, mengindikasikan kinerja yang baik dalam menggerakkan jari-jari tangan bionik.

Kata kunci – bionik, tuna daksa, 3d printing

I. PENDAHULUAN

Setiap manusia menginginkan hidup dengan kondisi yang normal dan memiliki anggota tubuh yang lengkap seperti manusia pada umumnya, namun pada kenyataannya terdapat individu yang tidak mendapatkan kesempurnaan seperti individu lainnya[1]. Tunadaksa atau cacat tubuh dapat diartikan sebagai kelainan bentuk tubuh yang mengakibatkan kelainan fungsi tubuh untuk melakukan gerakan-gerakan yang dibutuhkan[2]. Biro Pusat Statistik (BPS) mendaftarkan jumlah penyandang tunadaksa di Indonesia sampai dengan tahun 2020 mencapai 22,5 juta orang. Dari jumlah tersebut kebanyakan penyebab tunadaksa dikarenakan kecelakaan, polio, keturunan dan cacat sejak lahir[3]. Para penyandang tunadaksa biasanya akan tersingkir dari pergaulan masyarakat sekitarnya karena masyarakat selalu memandang negatif para penyandang tunadaksa, sehingga membuat para penyandang tunadaksa menjadi rendah diri, minder, merasa tak berguna dan menjadi konsumen saja daripada menjadi penyumbang

aktif dalam setiap kegiatan masyarakat. Oleh sebab itu kebutuhan akan alat bantu untuk orang cacat seperti cacat pada tangan dan kaki banyak dibutuhkan di Indonesia.[4] Bagi penderita cacat kaki di Indonesia alat bantu berjalan mudah dicari mulai dari kursi roda, kruk, penyangga dan lain-lain. Bagi penderita cacat tangan di Indonesia, alat bantu penderita cacat sedikit variasinya. Sedangkan yang banyak di pasaran hanya berfungsi sebagai aksesoris saja tanpa memiliki fungsi lainnya[5].

Di era teknologi yang sudah maju, masih ada harapan bagi para penyandang tunadaksa amputasi transradial untuk bisa kembali pada aktivitas seperti biasanya, yaitu dengan menggunakan alat bantu tangan palsu atau biasa disebut tangan prostesis[6]. Namun, kemampuan prostesis bertenaga tubuh atau mekanik cukup sulit untuk amputasi tingkat bahu dikarenakan minimnya artikulasi[7]. Adapun prostesis bertenaga listrik yang bisa membantu mengembalikan fungsi tangan, namun membutuhkan biaya yang lebih tinggi

sehingga tidak sesuai dengan negara berkembang yang rata-rata gajinya rendah[8].

Pada penelitian sebelumnya pergerakan jari tangan bionik berbasis Arduino dan sensor MPU 650 dengan penggerak motor servo. Pada penelitiannya *delay* yang dibutuhkan selama 3 detik[9]. Penelitian lainnya oleh Habib Nurfaizal, Makhsum, dan Yan Mitha Djaksana sebuah prototipe robot yang mampu digerakan dengan lengan manusia (*gesture mode*) dan dapat bekerja secara *looping* menggunakan kontrol yang berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan penggerak motor servo. Namun, pergerakan sudut pada motor servo masih susah dan harga sistem kendali yang relatif mahal [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu ada pengembangan terhadap sistem kendali tangan bionik agar memiliki kemampuan lain seperti dapat menggerakkan jari tangan robot sesuai kemauan pengguna dan *delay* yang lebih sedikit dengan harga yang terjangkau. Pada penelitian ini yang berjudul “Tangan Bionik sebagai Teknologi Tepat Guna untuk Penyandang Tunadaksa Berbasis 3D Printing” akan dibuat prototipe tangan bionik dengan kemampuan menggerakkan jari tangan membuka dan menutup, mampu mengangkat jari 1 sampai 5 dengan pergerakan sudut sesuai yang diinginkan pengguna dengan *delay* selama 1 detik dan memiliki harga yang terjangkau menggunakan percetakan 3D *printing* berbahan material PLA. Pada bidang kesehatan, 3D printer dapat menekan biaya pembuatan prostetik[11]. Pengenalan pencetakan 3D untuk pembuatan prosthesis telah menghasilkan strategi untuk mengurangi biaya produksi baru, memiliki aksesibilitas yang lebih baik dan penyesuaian desain prostetik[12].

Tujuan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan teknologi tepat guna bagi para penyandang tunadaksa yang lebih *lowcost* menggunakan material PLA dengan teknologi 3D *Printing* dan menghasilkan pergerakan yang lebih akurat. Sehingga dapat membantu para penyandang tunadaksa dapat melakukan aktivitas seperti pada umumnya.

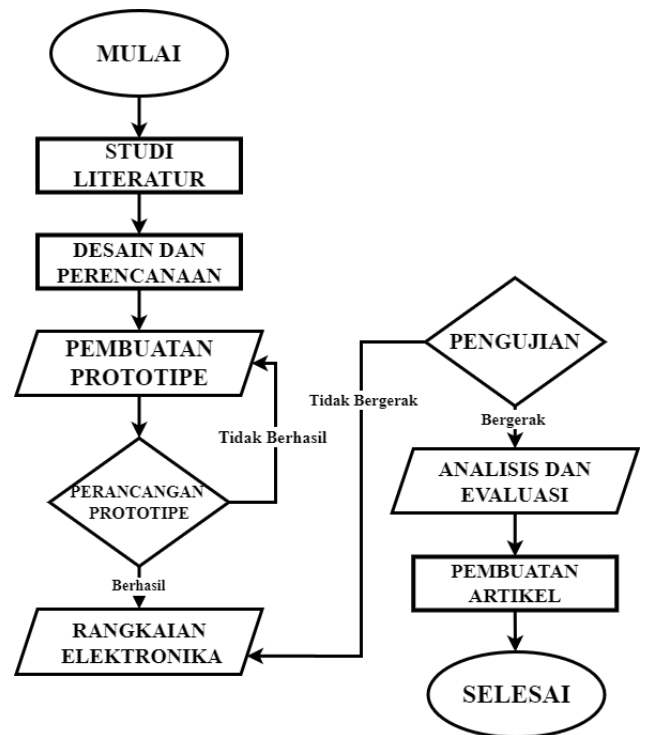
II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode digital fabrikasi. Digital fabrikasi merupakan proses memanipulasi objek dengan cara menambahkan ataupun mengurangi objek menggunakan perangkat Printer 3D[13]. Ada beberapa tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk sistem kerja tangan bionik, ditunjukkan melalui Gambar 2.

1. Tahap Desain: Pada tahap ini, dilakukan perencanaan desain tangan bionik berbasis pencetakan 3D dengan mempertimbangkan aspek ergonomis, fungsi, dan kebutuhan individu yang disesuaikan. Data diperoleh melalui pengamatan, wawancara dengan tunadaksa dan tenaga medis terkait, serta mempelajari literatur untuk memahami kebutuhan dan fitur yang relevan. Desain tangan bionik menggunakan *software* Blender seperti pada Gambar 3.

2. Tahap Pembuatan Prototipe: Setelah desain awal dibuat, langkah selanjutnya adalah memproduksi prototipe

tangan bionik menggunakan teknologi pencetakan 3D seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pemilihan bahan dan proses pencetakan yang tepat akan mempengaruhi kualitas dari hasil cetakan tersebut. Bahan material yang digunakan pada penelitian ini yaitu bahan PLA karena dengan harga yang kualitas yang sangat baik Data yang diperoleh dari tahap ini meliputi pengamatan langsung terhadap prototipe yang dihasilkan, serta pengujian awal untuk evaluasi fungsionalitas dan kesesuaian desain.



Gambar 1. Flowchart penelitian

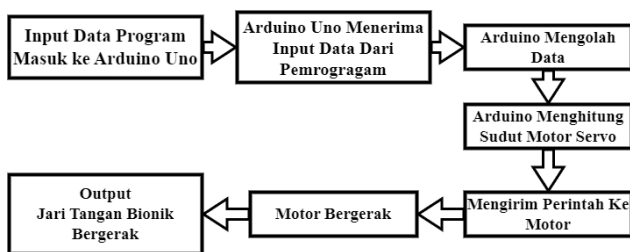
3. Tahap Perancangan Prototipe dan Pemilihan komponen: Setelah pembuatan prototipe menggunakan pencetakan 3D selesai dilanjutkan dengan perancangan prototipe dan pemilihan komponen, dalam pengembangan tangan bionik, pemilihan komponen yang tepat merupakan faktor penting. Komponen yang digunakan dalam penggunaan tangan bionik ini ada motor servo penggerak, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, *breadboard* dan kabel *jumper*. Data yang diperoleh dalam tahap ini melibatkan riset pasar, konsultasi dengan para ahli, dan pengujian berbagai komponen untuk mengevaluasi kinerja dan kesesuaiannya. Adapun beberapa komponen yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.

4. Tahap Rangkaian Elektronika: Setelah komponen dipilih dan perancangan prototipe berhasil, tahap berikutnya adalah merangkai komponen elektronika ke dalam tangan bionik. Hal ini melibatkan penempatan dan penghubungan yang tepat antara servo motor, mikrokontroler, dan bagian-bagian lainnya. Data yang diperoleh dalam tahap ini meliputi pengamatan dan pengujian rangkaian elektronika untuk memastikan koneksi yang benar dan fungsi yang sesuai.

Gambar 6 menunjukkan rangkaian elektronika dari tangan bionik.

5. Tahap Pengujian: Setelah tangan bionik selesai dirakit, dilakukan pengujian yang komprehensif. Pengujian ini meliputi uji fungsionalitas, dan pengujian *delay*. Data yang diperoleh dari pengujian ini membantu dalam mengevaluasi kinerja tangan bionik, mengidentifikasi potensi masalah, dan melakukan perbaikan yang diperlukan. Pada pengujian *delay*

6. Tahap Evaluasi: Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja dan keefektifan tangan bionik berbasis pencetakan 3D dalam penggunaan oleh tunadaksa. Data yang dikumpulkan mencakup umpan balik dari pengguna, tenaga medis, dan tim pengembang, serta pengamatan terhadap penggunaan tangan bionik dalam kehidupan sehari-hari. Evaluasi ini membantu dalam mengevaluasi solusi yang telah dikembangkan dan memperbaiki desain serta fungsi tangan bionik jika diperlukan.

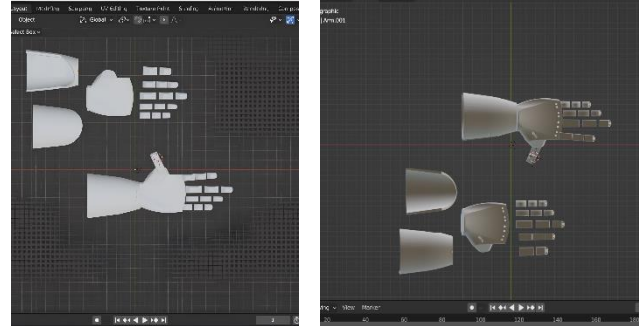


Gambar 2. Sistem kerja tangan bionik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, mulai dari tahap desain yang mana pada tahap ini *software* yang digunakan adalah Blender 3.6 LTS. Adapun bagian yang didesain di antaranya tangan kiri dengan 5 jari, satu telapak tangan, dan satu lengan. Masing-masing jari memiliki 3 ruas, kecuali jari jempol yang memiliki 2 ruas jari. Hal ini dikarenakan tangan manusia normal memiliki lima jari, dan setiap jari umumnya terdiri dari tiga ruas. Oleh karena itu, menggambarkan tangan dengan lima jari dan tiga ruas pada masing-masing jari yang bukan jari jempol adalah representasi yang realistis dari tangan manusia biasa. Jari jempol memiliki dua ruas, karena jari ini memiliki gerakan yang berbeda dari jari-jari lainnya. Pada setiap ruas jari terdapat 2 lubang di bagian belakang sebagai tempat penghubung jari dengan telapak tangan. Dengan lubang tersebut setiap ruas jari dapat berfungsi sebagai tempat penghubung antara jari dan telapak tangan. Desain ini mencerminkan konsep bionik, di mana elemen-elemen mekanis di replikasi dari makhluk hidup. Lubang-lubang ini memungkinkan perangkat mekanis atau alat penopang terhubung dengan jari-jari dan memfasilitasi gerakan. Satu lubang tempat tali di bagian tengah setiap ruas jari bertujuan sebagai tempat tali guna menarik jari agar dapat bergerak. Ini merupakan pendekatan mekanik yang sederhana namun efektif untuk mengendalikan gerakan jari pada tangan bionik. Pada lengan tangan terdapat empat lubang sebagai tempat keluarnya tali yang digunakan untuk penggerak.

Prototipe tangan bionik 3D berhasil dibuat berdasarkan desain yang telah dirancang di *software* Blender. Prototipe ini menggunakan material PLA yang dicetak dengan teknologi 3D *Printing*, mengikuti ukuran dan detail mekanisme yang telah direncanakan.



Gambar 3. Desain tangan bionik menggunakan *software* blender

Setiap jari memiliki 3 ruas, kecuali jari jempol yang memiliki 2 ruas, dengan 2 lubang di bagian belakang sebagai tempat penghubung jari dengan telapak tangan dan 1 lubang di bagian tengah sebagai tempat tali guna menarik jari agar bergerak. Tali elastis dan tali senar menghubungkan motor servo SG90s dengan jari-jari, sehingga memungkinkan gerakan yang alami.



Gambar 4. Pembuatan prototipe menggunakan 3D *printing*

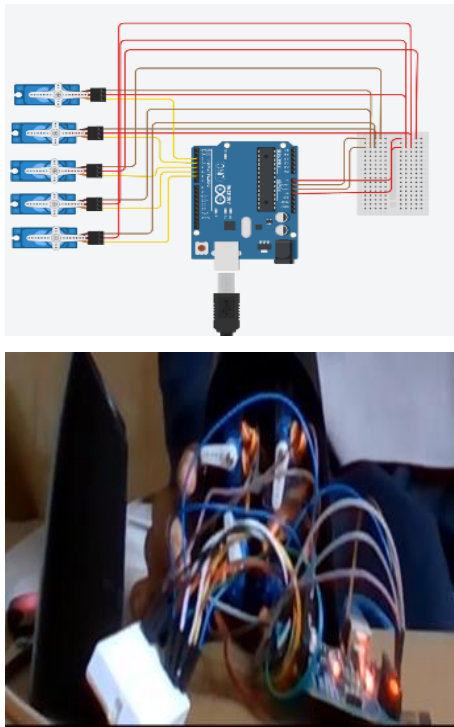
Pemilihan komponen untuk tangan bionik sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fungsionalitas, efisiensi, dan biaya. Komponen yang digunakan diantaranya Arduino Uno yang berfungsi sebagai otak atau pusat kendali utama dalam rangkaian tangan bionik yang mudah digunakan untuk memprogram dan mengontrol gerakan motor servo, mengatur interaksi dengan pengguna, dan mengintegrasikan berbagai komponen dalam rangkaian secara efisien. Tali elastis dan tali senar digunakan sebagai sistem penggerak untuk mengontrol gerakan jari-jari tangan bionik. Penggunaan tali ini membuat gerakan yang lebih halus dan alami pada tangan bionik. *Bread board* mini digunakan

sebagai platform untuk merakit dan menghubungkan komponen secara sementara tanpa penyolderan. Adaptor dan kabel jumper digunakan untuk menyediakan sumber daya dan menghubungkan komponen dengan mudah. Motor servo SG90 dipilih karena ukurannya yang kecil dan harganya yang terjangkau namun mampu menggerakkan jari-jari tangan bionik karena memiliki putaran yang akurat dan bekerja dengan tegangan rendah. Dengan menggunakan lima motor servo, setiap jari dapat dikendalikan secara mandiri untuk menghasilkan gerakan yang realistis pada tangan bionik. Dengan penggunaan komponen-komponen tersebut tangan bionik dapat dioperasikan dengan lancar, mengikuti perintah dari Arduino Uno, dan memberikan gerakan yang mirip dengan tangan manusia. Pilihan komponen ini memungkinkan desain yang efisien, biaya yang terjangkau, dan kemudahan dalam perakitan dan pengujian rangkaian.



Gambar 5. Komponen yang digunakan pada tangan bionik

Rangkaian elektronika pada tangan bionik dapat bergerak mirip dengan tangan manusia. Meskipun sederhana, dengan pemrograman dan pengaturan yang tepat, tangan bionik ini dapat memberikan kemampuan fungsional yang bermanfaat bagi penyandang tunadaksa.



Gambar 6. Rangkaian elektronik tangan bionik

Pada tahap pengujian dilakukan dua pengujian. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian Fungsionalitas dengan mengoperasikan tangan bionik dan mengamati gerakan setiap jari berdasarkan angka yang diinginkan. Pengujian ini mencakup berbagai gerakan perintah jari, seperti mengangkat angka 1 sampai 5 secara berurutan, mengulang gerakan beberapa kali, dan mengganti urutan angka yang diangkat. Pengujian kedua merupakan pengujian waktu *delay*, yang bertujuan untuk menilai kinerja sistem Arduino Uno dalam pemrosesan data dan pengiriman perintah ke motor servo, yang mengakibatkan gerakan motor serta gerakan jari tangan bionik. Pengukuran waktu dilakukan dari saat instruksi diterima oleh Arduino Uno hingga motor servo bergerak dan jari tangan bionik mengikuti perintah tersebut. Serangkaian pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap jari agar mendapatkan data yang konsisten. Hasil pengujian waktu *delay* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian fungsional

Komponen Pengujian	Keberhasilan	
	Berhasil	Tidak
Ibu jari dapat digerakkan	✓	
Jari Telunjuk dapat digerakkan	✓	
Jari Tengah, Jari manis, jari Kelingking dapat digerakkan	✓	
Jari dapat bergerak pada sudut 30°	✓	
Jari dapat bergerak sudut pada 60°	✓	
Jari dapat bergerak sudut pada 90	✓	
Jari dapat bergerak pada sudut 180	✓	
Gerakkan membuka dan menutup jari	✓	
Jari bergerak dengan <i>Delay</i> 1000s	✓	

Tabel 2. Hasil pengujian *delay* motor servo

Pengujian	Waktu <i>delay</i> pada pemrograman (1s)	Waktu servo bergerak (ms)
Ibu jari 1	20:25:34.569	20:26:34.702
Ibu Jari 2	20:25:34.603	20:26:34.735
Ibu Jari 3	20:25:34.605	20:26:34.752
Telunjuk 1	20:25:34.930	20:25:35.151
Telunjuk 2	20:25:35.964	20:25:36.126
Telunjuk 3	20:25:36.015	20:25:36.167
Tengah 1	20:25:36.539	20:25:36.685
Tengah 2	20:25:36.573	20:25:36.703
Tengah 3	20:25:36.596	20:25:36.759
Manis 1	20:25:36.612	20:25:36.790
Manis 2	20:25:36.985	20:25:37.134
Manis 3	20:25:37.213	20:25:37.346
Kelingking 1	20:25:37.226	20:25:37.379
Kelingking 2	20:25:37.243	20:25:37.381
Kelingking 3	20:25:37.243	20:25:37.398

Dari data tersebut tangan bionik menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengangkat dan menggerakkan setiap jari sesuai dengan angka yang ditentukan. Gerakan jari-jari ini tampak alami dan realistis, menunjukkan efektivitas penggunaan motor servo dan desain tali penggerak. Tangan bionik merespons dengan baik terhadap perintah yang diberikan melalui Arduino Uno, respons terhadap perintah dilakukan dengan cepat, dan tidak ada penundaan yang signifikan dalam gerakan jari. Gerakan setiap jari cukup akurat, meskipun ada sedikit getaran pada beberapa gerakan tertentu. Hal ini mungkin disebabkan oleh beban atau gesekan pada mekanisme penggerak dan dapat diperbaiki dengan program pengoptimalan atau perbaikan mekanis. Tangan bionik menunjukkan stabilitas dan ketahanan yang baik selama pengujian. Servo motor dan sambungan mekanis pada tangan bionik tetap dalam kondisi baik selama pengujian berlangsung. Keberhasilan gerakan jari-jari tangan bionik menunjukkan keberhasilan dalam perancangan dan implementasi rangkaian elektronika. Pemilihan motor servo yang tepat dan program yang efisien pada Arduino Uno telah menghasilkan gerakan yang halus dan realistis. Namun ditemukan *jitter* atau getaran pada beberapa gerakan menunjukkan adanya potensi untuk perbaikan lebih lanjut. Program pengoptimalan atau penyesuaian mekanis dapat meningkatkan ketepatan gerakan jari-jari. Sedangkan kestabilan dan ketahanan yang baik selama pengujian menunjukkan bahwa tangan bionik telah dirancang dengan kokoh dan tahan lama. Dari hasil uji *delay* yang tercatat dalam Tabel 2 juga dapat diketahui bahwa selisih waktu yang dibutuhkan motor servo untuk bergerak pada ibu jari berkisar antara 132 hingga 147 milidetik, pada telunjuk berkisar antara 152 hingga 221 milidetik, pada jari tengah berkisar antara 130 hingga 163 milidetik, pada jari manis berkisar antara 133 hingga 178 milidetik, dan pada jari kelingking berkisar antara 138 hingga 154 milidetik sehingga dapat disimpulkan bahwa pergerakan jari tangan bionik dengan aktuator motor servo sangat akurat.



Gambar 7. Hasil akhir tangan bionik

Hasil evaluasi tangan bionik 3D menunjukkan hasil yang dapat menciptakan gerakan jari-jari yang alami dan responsif. Setiap jari dapat diangkat sesuai urutan angka 1 hingga 5 dengan lancar. Meskipun sistem berfungsi dengan baik, namun masih ditemukan sedikit gangguan pada beberapa gerakan yang memengaruhi akurasi.

Peragaan hasil akhir tangan bionik ditunjukkan pada Gambar 7. Evaluasi juga stabilitas dan perlindungan pelindung selama penggunaan. Perlu analisis yang tajam untuk mengoptimalkan kinerja tangan bionik, termasuk mengatasi *jitter* dan mempertimbangkan kekuatan bahan pencetakan 3D. Dengan pengembangan lebih lanjut, teknologi bionik ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dan terjangkau bagi para penyandang tunadaksa.

IV. SIMPULAN

Keberhasilan percobaan ini menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengangkat dan menggerakkan setiap jari sesuai dengan angka yang ditentukan, dengan gerakan yang tampak alami. Respons terhadap perintah dari Arduino Uno dilakukan dengan cepat tanpa penundaan yang signifikan, menunjukkan efektivitas penggunaan motor servo dan desain tali penggerak. Meskipun ditemukan sedikit terdapat getaran pada beberapa gerakan, pergerakan jari-jari tangan bionik secara keseluruhan sangat akurat. Dari hasil uji *delay* yang tercatat, pergerakan jari tangan bionik dengan aktuator motor servo menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan selisih waktu yang kecil antara yang diharapkan dan yang terukur. Berdasarkan parameter keberhasilan berdasarkan percobaan secara kuantitatif, tingkat akurasi pergerakan jari-jari tangan bionik mencapai lebih dari 90%, menunjukkan bahwa tangan bionik ini berhasil mencapai standar yang tinggi dalam fungsionalitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak perguruan tinggi Kami yaitu Universitas PGRI Yogyakarta yang menyediakan sarana prasarana, Ucapan terima kasih juga Kami sampaikan kepada ibu Amalia C. Nur'aidha, M. Si, dan bapak Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati, M. Biotech selaku dosen pembimbing dalam kegiatan penelitian ini. Semoga dengan kegiatan penelitian ini para mahasiswa dapat mengasah kemampuannya dengan harapan dapat berpikir kritis untuk memberikan kontribusi dalam kemajuan bangsa ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Febriani, "Penerimaan Diri Pada Remaja Penyandang Tuna Daksa," vol. 6, no. 1, pp. 150–157, 2018.
- [2] I. Pratiwi and Hartosujono, "Resiliensi pada penyandang tunadaksa," *J. SPIRITS*, vol. 5, no. 1, pp. 48–54, 2015, [Online]. Available: https://media.neliti.com/media/publications/256854-resiliensi-pada-penyandang-tuna-daksa-no-7316ab42.pdf&ved=2ahUKEwiLyNmi_or1AhXfxDgGHaoiCCMQFnoECC0QAQ&usq=AOvVaw3Qe6E--WKKiNhWabXCikr2
- [3] Yayasan visi maha karya, "Program Kakiku Kini Kembali," *yayasan visi maha karya*. <https://visimahakarya.org/program-tunadaksa/> (accessed May 26, 2023).

- [4] T. Jefri, "Aksesibilitas Sarana dan Prasarana bagi Penyandang Tunadaksa di Universitas Brawijaya," *Ijds*, vol. 3, no. 1, pp. 16–25, 2016.
- [5] N. Akhfridho, "Perancangan Dan Pembuatan Tangan Palsu Sebagai Alat Bantu Orang Cacat," 2011, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/34853>
- [6] M. Rahman, *Rancang Bangun Protesis Lengan Untuk Tunadaksa Bawah Siku (Amputasi Transradial)*. 2017.
- [7] W. Schweitzer, M. J. Thali, and D. Egger, "Casestudy-of-a-userdriven-prosthetic-arm-design-Bionic-hand-versus-customized-bodypowered-technology-in-a-highly-demanding-work-environmentJournal-of-NeuroEngineering-and-Rehabilitation.pdf," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–27, 2018.
- [8] M. F. Amirullah, D. Kuswanto, and A. D. Krisbianto, "Desain Lengan Bionik Berbasis Open Source (HACKberry Arm) untuk Anak-Anak Tunadaksa Amputasi Trans-radial agar Lebih Percaya Diri," no. January 2022, pp. 89–95, 2021, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Djoko-Kuswanto/publication/357578406_Desain_Lengan_Bionik_Berbasis_Open_Source_HACKberry_Arm_untuk_Anak-](https://www.researchgate.net/profile/Djoko-Kuswanto/publication/357578406_Desain_Lengan_Bionik_Berbasis_Open_Source_HACKberry_Arm_untuk_Anak-Anak_Tunadaksa_Amputasi_Trans-radial_agar_Lebih_Percaya_Diri/links/61d56fb1da5d105e551d6a6e/Desain-Lengan-Bionik-B)
- [9] B. Utomo, N. Y. Dwi Setyaningsih, and M. Iqbal, "Kendali Robot Lengan 4 Dof Berbasis Arduino Uno Dan Sensor Mpu-6050," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 89–96, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.3699.
- [10] H. Nurfaizal, M. Makhsun, and Y. M. Djaksana, "Prototype Sistem Kendali Robot Arm Gripper Manipulator Menggunakan Flex Sensor Dan Mpu6050 Berbasis Internet of Things," *Fakt. Exacta*, vol. 13, no. 4, p. 191, 2021, doi: 10.30998/faktorexacta.v13i4.6598.
- [11] M. Ihya *et al.*, "Pengaruh Variasi Jenis Resin Dan Waktu Curing Pada Hasil Cetakan 3D Printing Terhadap Nilai Material Properties," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 139–144, 2022.
- [12] A. D. Sunnarto, Gatot. Katmimi. Eliana, "Efektifitas Biaya Penggunaan Teknologi Pencetakan 3D (Industri 4.0) pada Alat Bantu Ortotik Prostetik Gatot Sunarto," vol. 14, pp. 17–26, 2023.
- [13] R. Scopigno, P. Cignoni, N. Pietroni, M. Callieri, and M. Dellepiane, "Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey," *Comput. Graph. Forum*, vol. 36, no. 1, pp. 6–21, 2017, doi: 10.1111/cgf.12781.