

Uji Coba Sistem *Pneumatik* pada *Hand Trainer* Berbahan TPU untuk Meningkatkan Fungsi Motorik Tangan Pasien *Stroke*

Yogi ilyasyah¹, Hasdiansah^{1*}, Zaldy S. Suzen¹

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : phiannttarah@yahoo.co.id

Received: 3 Desember 2025; Received in revised form: 16 Juli 2026; Accepted : 16 Juli 2026

Abstract

This study focuses on designing and testing a Pneumatic Hand Trainer using 3D printing technology to support hand rehabilitation for post-stroke patients. The device employs a soft actuator made of Thermoplastic Polyurethane (TPU) driven by compressed air through a pneumatic system. The experimental process included design using SolidWorks, 3D printing fabrication, assembly, and performance testing. The results showed that the device operated effectively at a pressure range of 0.39–0.45 MPa, with an average of 0.4 MPa, providing stable and responsive motion during grip and release movements. Minor pressure variations were within acceptable limits, influenced by air supply and material elasticity. Overall, the system is efficient, safe, and capable of simulating natural finger motion, indicating its potential as a cost-effective rehabilitation tool based on additive manufacturing and pneumatic actuation.

Keywords : 3D Printing, Hand Rehabilitation, Post-Stroke, , Thermoplastic Polyurethane (TPU).

Abstrak

Studi ini berfokus pada perancangan dan pengujian Pneumatic Hand Trainer menggunakan teknologi pencetakan 3D untuk mendukung rehabilitasi tangan pada pasien pasca-stroke. Perangkat ini menggunakan aktuator lunak yang terbuat dari Thermoplastic Polyurethane (TPU) yang digerakkan oleh udara terkompresi melalui sistem pneumatik. Proses eksperimen meliputi perancangan menggunakan SolidWorks, pembuatan melalui pencetakan 3D, perakitan, dan pengujian kinerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat beroperasi secara efektif pada rentang tekanan 0,39–0,45 MPa, dengan rata-rata 0,4 MPa, memberikan gerakan yang stabil dan responsif selama gerakan menggenggam dan melepaskan. Variasi tekanan kecil berada dalam batas yang dapat diterima, dipengaruhi oleh pasokan udara dan elastisitas material. Secara keseluruhan, sistem ini efisien, aman, dan mampu meniru gerakan jari secara alami, menunjukkan potensinya sebagai alat rehabilitasi yang hemat biaya berdasarkan manufaktur aditif dan aktuasi pneumatik.

Kata kunci: Pencetakan 3D, Rehabilitasi Tangan, Pasca-Stroke, Poliuretan Termoplastik (TPU).

1. PENDAHULUAN

Stroke merupakan gangguan fungsi otak yang terjadi akibat terganggunya aliran darah menuju jaringan otak, baik karena sumbatan (*iskemik*) maupun pecahnya pembuluh darah (*hemoragik*). Gangguan ini menyebabkan hilangnya suplai oksigen dan nutrisi ke sel otak, sehingga mengakibatkan kematian sel saraf yang berperan penting dalam mengendalikan gerakan tubuh, bicara, dan koordinasi. Sekitar 15 juta orang di dunia mengalami stroke setiap tahun, dengan 5 juta di antaranya meninggal dunia dan 5 juta lainnya mengalami cacat permanen. Angka ini menunjukkan bahwa stroke tidak hanya

menjadi masalah medis, tetapi juga menjadi isu sosial dan ekonomi global karena berdampak pada penurunan produktivitas masyarakat dan meningkatnya beban perawatan jangka panjang [1].

Di Indonesia, berdasarkan *Riset Kesehatan Dasar* (Riskesdas) dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia prevalensi stroke mencapai lebih dari 10,9 per 1.000 penduduk dan cenderung meningkat setiap tahunnya, terutama pada kelompok usia produktif antara 40–60 tahun. Peningkatan kasus stroke di Indonesia disebabkan oleh faktor risiko seperti hipertensi, obesitas, stres, dan pola hidup

sedentari. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada individu penderita, tetapi juga menimbulkan beban ekonomi bagi keluarga dan negara akibat biaya pengobatan, terapi, dan kehilangan pendapatan akibat disabilitas jangka panjang [2]. Setelah mengalami serangan stroke, salah satu gangguan yang paling umum adalah kelemahan atau kelumpuhan pada satu sisi tubuh yang dikenal sebagai *hemiparesis*. Gangguan ini terutama memengaruhi anggota gerak atas seperti tangan dan jari, sehingga pasien kehilangan kemampuan untuk melakukan aktivitas dasar seperti makan, berpakaian, menulis, atau menggenggam benda [3]. Upaya rehabilitasi menjadi aspek vital dalam proses pemulihan pasien pasca-stroke. Rehabilitasi berfokus pada pengembalian fungsi motorik melalui latihan berulang untuk merangsang terbentuknya jalur saraf baru dalam otak—a process known as *neuroplasticity*. Konsep *neuroplasticity* menjelaskan bahwa otak manusia memiliki kemampuan untuk beradaptasi dan membentuk koneksi baru ketika bagian tertentu rusak, asalkan diberi stimulasi yang tepat dan teratur. Oleh karena itu, terapi fisik yang konsisten sangat penting untuk mendorong pemulihan gerakan tangan pasien [4].

Di Indonesia, keterbatasan jumlah fisioterapis profesional dan biaya terapi yang tinggi menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan rehabilitasi jangka panjang. Banyak pasien yang tidak mampu melanjutkan terapi di rumah sakit setelah masa perawatan akut berakhir. Kondisi ini mendorong perlunya alat bantu terapi yang dapat digunakan secara mandiri di rumah dengan pengawasan minimal dari tenaga medis, sehingga pasien tetap dapat melatih kemampuan motoriknya secara rutin dan berkelanjutan [5].

Salah satu terobosan dalam dunia teknik yang mampu menjawab tantangan ini adalah teknologi manufaktur aditif atau yang lebih dikenal dengan *3D printing*. Teknologi ini memungkinkan pencetakan objek tiga dimensi secara langsung dari model digital melalui proses penumpukan lapisan (*layer-by-layer*). *3D printing* memberikan fleksibilitas desain yang sangat tinggi, sehingga cocok digunakan dalam pembuatan perangkat medis yang harus disesuaikan dengan anatomi tubuh pengguna [6]. *3D printing* menawarkan efisiensi dalam hal waktu produksi, biaya, serta kemampuan untuk membuat geometri

kompleks yang sulit dicapai dengan teknik manufaktur konvensional seperti injection molding. Dalam konteks rehabilitasi, hal ini memungkinkan pengembangan alat terapi yang ringan, ergonomis, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan setiap pasien [7]. Penerapan *3D printing* dalam bidang medis dapat menghemat hingga 40% biaya produksi alat bantu dibandingkan metode tradisional. Teknologi ini juga memungkinkan proses iterasi desain yang cepat sehingga pengembangan produk dapat dilakukan secara fleksibel dan terukur. Keunggulan tersebut menjadikan *3D printing* sebagai solusi ideal bagi institusi pendidikan vokasi atau penelitian yang memiliki keterbatasan dana, namun ingin mengembangkan alat inovatif dengan nilai terap tinggi [8].

Salah satu aspek penting dalam keberhasilan alat rehabilitasi berbasis *3D printing* adalah pemilihan material yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan karena memiliki kombinasi sifat elastisitas tinggi, ketahanan terhadap tekanan, dan kemampuan deformasi yang baik. TPU mampu menahan tekanan udara berulang tanpa mengalami deformasi permanen, menjadikannya material yang ideal untuk pembuatan *soft actuator* dalam sistem pneumatik [9]. Aktuator lunak berbasis TPU yang diproduksi menggunakan metode *Fused Deposition Modeling (FDM)* dapat menahan tekanan udara hingga 0,6 MPa dengan tingkat kebocoran minimal. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi *3D printing* dapat menghasilkan komponen pneumatik berkualitas tinggi tanpa memerlukan proses fabrikasi kompleks. Selain itu, karakteristik fleksibilitas TPU memungkinkan aktuator mengikuti bentuk jari pengguna dengan baik, sehingga menghasilkan gerakan yang lebih alami [10].

Dalam dunia rekayasa, sistem pneumatik menjadi salah satu teknologi penggerak paling efisien karena mampu menghasilkan gerakan halus dengan kontrol tekanan yang relatif sederhana. Sistem ini bekerja menggunakan udara bertekanan sebagai media transmisi energi yang menggerakkan aktuator mekanik. Dibandingkan sistem hidrolik, pneumatik memiliki keunggulan dari sisi kebersihan, keamanan, dan biaya perawatan yang

rendah, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi medis dan robotik lunak [11].

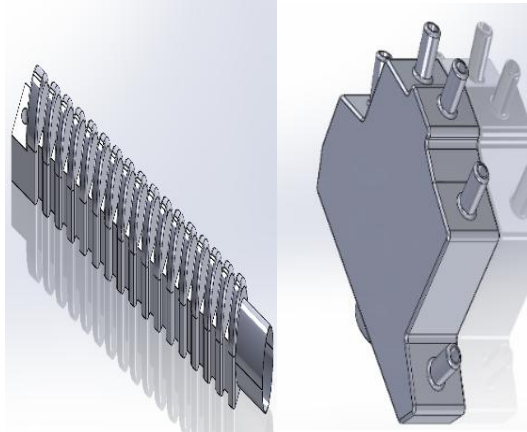
Sistem pneumatik memiliki potensi besar dalam aplikasi rehabilitasi karena dapat menghasilkan gaya dorong yang lembut dan aman. Keunggulan ini menjadikannya pilihan utama dalam pembuatan sarung tangan terapi yang meniru gerakan fisiologis manusia. Dengan tekanan udara yang dapat dikontrol secara presisi, sistem pneumatik dapat menggerakkan jari pasien tanpa menyebabkan rasa nyeri atau ketegangan otot berlebihan [12]. Melakukan studi komprehensif terhadap berbagai perangkat rehabilitasi tangan berbasis sistem pneumatik dan menemukan bahwa alat tersebut mampu meningkatkan fleksibilitas jari hingga 35% dibandingkan terapi manual. Efisiensi sistem pneumatik yang tinggi memungkinkan alat beroperasi dengan tekanan rendah, namun tetap memberikan gaya yang cukup untuk menggerakkan sendi jari pasien [13]. Mengembangkan sarung tangan pneumatik berbahan TPU dengan struktur ruang udara berbentuk *honeycomb*. Desain ini memungkinkan distribusi tekanan merata di seluruh jari, sehingga mengurangi risiko konsentrasi gaya pada satu titik. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa sarung tangan tersebut mampu menghasilkan gaya hingga 25 N dengan efisiensi tekanan 0,5 MPa [14]. menekankan bahwa sistem pneumatik memiliki tingkat keamanan yang jauh lebih tinggi dibandingkan sistem aktuasi elektrik atau hidrolik karena udara sebagai fluida kerja tidak menimbulkan efek panas atau kebocoran berbahaya. Dalam konteks rehabilitasi medis, faktor keamanan ini sangat penting karena alat akan berinteraksi langsung dengan bagian tubuh pasien yang sensitif. Oleh karena itu, penggunaan sistem pneumatik menjadi alternatif ideal dalam pengembangan perangkat rehabilitasi modern yang mengedepankan keamanan, kenyamanan, dan efisiensi energi [15].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tujuan menguji kinerja dan efektivitas alat *Hand Trainer Pneumatik* untuk rehabilitasi pasien stroke, yang dirancang agar dapat membantu gerakan menggenggam dan membuka tangan secara bertahap dengan bantuan tekanan udara. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip aktuasi pneumatik, di mana tekanan udara digunakan untuk menggerakkan jari-jari buatan sehingga meniru gerakan alami tangan manusia.

Berdasarkan skema rencana penelitian, tahapan pelaksanaan dimulai dari tahap perancangan alat *hand trainer pneumatik* menggunakan perangkat lunak *Solidworks* sebagai media untuk membuat desain awal. Setelah desain selesai, penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan bahan dan persiapan komponen yang diperlukan. Tahap berikutnya yaitu pembuatan dan perakitan komponen sesuai rancangan hingga terbentuk *prototype hand trainer* yang siap untuk diuji. Selanjutnya, ditentukan lokasi pengujian yang sesuai, dan dilakukan pengukuran kinerja sistem melalui uji performa, dengan fokus pada kemampuan alat dalam membantu gerakan genggam dan pelepasan tangan pasien stroke.

Alat *hand trainer pneumatik* ini dirancang dengan konfigurasi sistem aktuator fleksibel pada setiap jari, di mana masing-masing jari dilengkapi dengan aktuator penggerak jari berbahan TPU yang dapat melengkung saat diberi tekanan udara dan Sistem distribusi udara yang menyalurkan tekanan ke setiap jari. bentuk yang disesuaikan dengan anatomi jari manusia untuk menjaga keseimbangan gerakan dan distribusi tekanan sehingga menghasilkan performa latihan genggam yang optimal. Rancangan dan bentuk *prototype* alat dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Penggerak Jari dan 2. Sistem Distribusi Udar.

Setelah tahap desain selesai, dilakukan proses pembuatan komponen hand trainer pneumatik. Tahap awal dimulai dengan pencetakan aktuator fleksibel menggunakan printer 3D berbahan TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) sesuai ukuran yang telah ditentukan. Aktuator yang telah dicetak kemudian dibentuk dan dirakit pada sarung tangan rehabilitasi agar setiap jari memiliki posisi dan sudut lentur yang seragam. Selanjutnya dilakukan perakitan sistem *pneumatik* dari kompresor disambungkan menggunakan selang pneumatik diameter 10 ke regulator tekanan untuk melihat hasil

tekanan yang didapat pada alat *hand training*. Dari regulator disambung lagi ke sambungan Y yang berfungsi untuk membagi aliran udara udara satu ke dua aliran udara yang berbeda. Dari sambungan Y disambungkan ke ke dua alat *hand training* melalui ruang penyalur udara. Pengujian difokuskan pada penggerak jari yang bisa apa alat *hand training* menggenggam sesuatu yang di coba menggunakan bola berduri. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja dan efektif pada alat *hand training* kesatuan alat hand trainer yang siap untuk diuji ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hand Trainer Pneumatik

Pengujian alat *hand trainer pneumatik* dilakukan menggunakan kompresor dengan udara bertekanan sebagai media penggerak utama Sistem aktuator dihubungkan dengan regulator tekanan tepro yang berfungsi untuk mengetahui tekanan yang diterima pada jari-jari buatan. Kinerja alat diuji dengan mengamati gerakan genggam dan lepas

tangan terhadap objek uji seperti gelas plastik dan bola spons. Selama pengujian, perubahan tekanan udara serta respons gerakan jari direkam dan dianalisis untuk menilai efektivitas alat dalam membantu rehabilitasi gerak tangan penderita *stroke*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



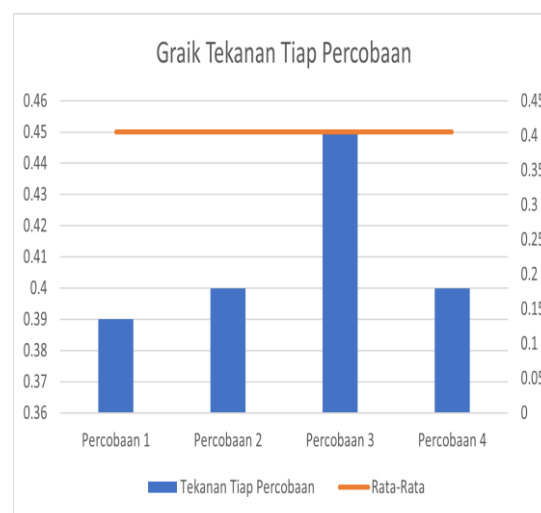
Gambar 4. Pengujian alat *hand trainer*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian alat *hand training* yang telah dilakukan ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1. Data Uji (MPa)

PERCOBAAN 1	PERCOBAAN 2	PERCOBAAN 3	RATA RATA
Mpa 0,39	Mpa 0,4	Mpa 0,45	Mpa 0,4



Gambar 5. Grafik Uji Alat *Hand Trainer Pneumatik*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, hasil pengujian tekanan udara sistem pneumatik menunjukkan bahwa pada percobaan pertama diperoleh tekanan sebesar 0,39 MPa, percobaan kedua 0,40 MPa, percobaan ketiga 0,45 MPa, dan percobaan keempat 0,40 MPa. Nilai rata-rata tekanan dari keempat percobaan adalah sekitar 0,405 MPa, seperti yang ditunjukkan oleh garis merah putus-putus pada grafik.

Terlihat adanya kenaikan tekanan pada percobaan ketiga, yang menandakan kondisi sistem mencapai tekanan optimal.

Setelah itu, pada percobaan keempat tekanan sedikit menurun, yang dapat disebabkan oleh perubahan kecil pada suplai udara, kestabilan regulator, atau kebocoran kecil pada aktuator penggerak jari.

Secara umum, hasil ini menggambarkan bahwa sistem bekerja dengan cukup stabil di sekitar tekanan 0,4 MPa, dengan fluktuasi kecil yang masih dalam batas wajar. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan konsisten, pengujian lanjutan dengan pengendalian variabel tekanan dan aliran udara yang lebih ketat perlu dilakukan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat *Hand Trainer Pneumatik* berbasis teknologi *3D printing* mampu bekerja dengan baik dalam membantu proses rehabilitasi pasien pasca-stroke. Desain alat yang mengadopsi sistem aktuator lunak berbahan TPU memberikan fleksibilitas dan kenyamanan saat digunakan, sementara sistem pneumatik berfungsi efektif dalam menghasilkan gerakan jari yang menyerupai gerakan alami tangan manusia.

Hasil uji performa menunjukkan bahwa alat ini dapat beroperasi dengan tekanan rata-rata 0,4 MPa, di mana tekanan optimal dicapai pada percobaan ketiga sebesar 0,45 MPa. Fluktuasi tekanan antar percobaan masih tergolong stabil, menandakan sistem distribusi udara dan kontrol tekanan berfungsi dengan baik. Alat ini juga memiliki tingkat keamanan tinggi karena bekerja menggunakan udara bertekanan rendah dan tidak menimbulkan risiko panas atau cedera mekanis.

Secara keseluruhan, *Hand Trainer Pneumatik* ini efektif digunakan untuk melatih kekuatan genggaman serta meningkatkan koordinasi jari pada pasien stroke. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan *3D printing* dan sistem pneumatik dapat menghasilkan perangkat rehabilitasi yang fungsional, ekonomis, dan mudah direplikasi. Untuk penelitian lanjutan, disarankan agar dilakukan optimasi sistem kontrol tekanan otomatis serta pengujian langsung kepada pasien guna memperoleh data klinis yang lebih representatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik berupa bimbingan, fasilitas, maupun motivasi, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih khusus juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dalam penyediaannya, pada kesempatan ini peneliti melakukan dengan serius dan telah membantu dalam proses pengujian alat *Hand Trainer Pneumatik*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization (WHO), *Global Report on Stroke Prevention and Control*. Geneva: World Health Organization, 2024.
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI), *Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2023: Prevalensi Stroke di Indonesia*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2023.
- [3] T. Rahman, F. Nugroho, and R. Aulia, "Motor Recovery in Post-Stroke Patients through Robotic Rehabilitation," *Journal of Medical Robotics*, vol. 5, no. 2, pp. 55–63, 2020.
- [4] V. L. Feigin, "Global Burden of Stroke and Its Risk Factors: Progress and Challenges," *Nature Reviews Neurology*, vol. 15, no. 3, pp. 135–147, 2019.
- [5] N. Suryani, D. Hartono, and E. Azizah, "Analisis Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Terapi Rehabilitasi Pasien Stroke di Indonesia," *Jurnal Kesehatan Nasional*, vol. 7, no. 3, pp. 125–133, 2019.
- [6] K. Sadana, "Pemanfaatan Teknologi 3D Printing dalam Desain Produk Medis dan Prototipe Industri," in *Seminar Nasional Sistem Informasi (SENASIF)*, vol. 2, no. 1, pp. 44–49, 2018.
- [7] Y. Pratama and F. Dewi, "Desain dan Implementasi Alat Rehabilitasi Pasien Stroke Menggunakan Teknologi 3D Printing," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Indonesia*, vol. 8, no. 1, pp. 201–208, 2021.
- [8] S. Gatot and D. Agusta, "Penerapan Teknologi 3D Printing dalam Bidang Medis dan Rehabilitasi," *Jurnal Inovasi Teknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 65–73, 2023.
- [9] R. Zulkifli, I. Ahmad, and Y. Chen, "Optimization of TPU-Based Soft Actuator Design Using FDM Printing," *Journal of Advanced Manufacturing*, vol. 17, no. 2, pp. 99–110, 2025.
- [10] C. Liang, Y. Liu, and X. Wang, "Performance Analysis of 3D Printed TPU Soft Actuators for Pneumatic Systems," *Journal of Biomedical Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 221–230, 2022.
- [11] S. Ilham and A. Firman, "Desain Sistem Pneumatik Lunak untuk Rehabilitasi Jari Tangan Pasien Stroke," *Jurnal Rotasi*, vol. 2, no. 1, pp. 35–42, 2023.
- [12] S. Yang, J. Park, and D. Lee, "Portable Soft Exoskeleton Glove for Bilateral Hand Therapy Based on Pneumatic Actuation," *Biosensors*, vol. 11, no. 9, p. 350, 2021.

-
- [13] R. Kabir, Y. Tanaka, and T. Suzuki, "Systematic Review on Pneumatic Hand Rehabilitation Devices: Efficiency and Safety Aspects," *Micromachines*, vol. 13, no. 7, pp. 1112–1128, 2022.
- [14] J. Liangwei *et al.*, "Development of a Honeycomb Pneumatic Glove for Stroke Rehabilitation Using TPU Material," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 712–721, 2023.
- [15] F. Ahmad and S. Rahman, "Stroke Rehabilitation: Recent Advances and Future Perspectives on Pneumatic Actuation Safety," *Journal of Neurology and Biomedical Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 185–197, 2020.