

Rancang Bangun Bio 3D Printer Menggunakan Material Biocompatibel Peek

Mochammad Iqbal Asskhaaf¹, Hendro Nurhadi¹, dan Djoko Kuswanto²

¹Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

²Departemen Desain Produk, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: hdnurhadi@mhs.me.its.ac.id

Abstrak—Tingkat kecelakaan secara global berada di peringkat ke-8, diantaranya terjadi pada pengguna kendaraan roda dua dan menyebabkan fraktur tengkorak. Fraktur tengkorak ini menjadi prioritas utama dalam penanganan medis karena sering menyebabkan kecacatan seumur hidup dengan bentuk defek yang berbeda tiap kasusnya. Dalam penanganan fraktur tengkorak, sudah banyak digunakan cetak langsung *custom implant* dengan printer 3D berbahan titanium atau polimer, dan untuk “*low cost*” bagi negara berkembang, sudah terdapat metode *molding implant* yang dicetak dengan printer 3D. Saat ini printer 3D paling populer di dunia termasuk di Indonesia adalah teknologi ekstrusi polimer atau sering disebut FDM, karena teknologinya sudah open source. Pengembangan ini disertai juga dengan pengembangan material polimer biokompatibel, seperti PEEK medical grade, sehingga membuka peluang pengembangan printer 3D *low cost* yang mampu cetak langsung *custom implant* tengkorak dan kasus medis yang lain. Teknologi FDM memiliki ketelitian rata-rata 0,2 mm. Penggunaan mekanisme corexy pada teknologi FDM dapat membantu ketelitian dimensi cetak. Hal ini disebabkan dari mekanisme belt serta pergerakan motor x dan y sangat stabil. Penggunaan mekanisme corexy sangat membutuhkan struktur rangka hypercube agar dapat beroperasi secara optimal. Artikel ini membahas perencanaan kebutuhan motor pada masing sumbu. Perencanaan dilakukan dengan perhitungan manual elemen mesin serta dilakukan pengujian pada bidang xy dengan menggunakan pulpen dengan bidang persegi panjang sehingga memperoleh nilai dibawah 0,2 mm.

Kata Kunci—Fraktur Tengkorak, Biokompatible Material, 3D Printer, Motor, Akurasi.

I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN WHO dalam laporan "Global Status Report Onroad Safety 2018" terjadinya kecacatan seumur hidup berasal kecelakaan jalan urutan ke-8 dengan jumlah kematian mencapai 1,3 juta jiwa dalam setahun atau 3.562 jiwa/hari. Faktor usia korban usia meninggal akibat kecelakaan jalan raya mendekati 60% merupakan rentang usia 15-44 tahun. Menurut sumber yang sama, negara Indonesia dilihat dari jenis pengguna jalan yang menjadi korban kecelakaan jalan raya, 3 terbesar adalah pengguna kendaraan roda 2 (74%), pengemudi dan penumpang bus (7%) dan pejalan kaki (16%). Jenis luka sedang hingga berat dari kecelakaan jalan raya, biasanya disertai dengan patah tulang yang salah satunya adalah pada bagian tengkorak dengan tingkat kondisinya yang parah [1].

Fraktur/defek tulang tengkorak (cranial bone defects)

Tabel 1.
Massa pada Komponen

No	Komponen	Massa (gr)	Berat (N)
1	Hotend	124	1,2
2	Stepper motor	800	7,85
3	Extruder	160	1,57
4	heatedbed	800	7,85
5	Plat aluminium	1200	11,78
6	Aluminium profile 2020	300	2,94
7	Linear rail	357	3,53
8	Linear carriage	150	1,47
9	Mount hoetend	200	1,96
10	Kaca	1240	12,16
11	Massa benda	6000	58,86

Tabel 2.
Hasil Pengujian Performa Gerak XY

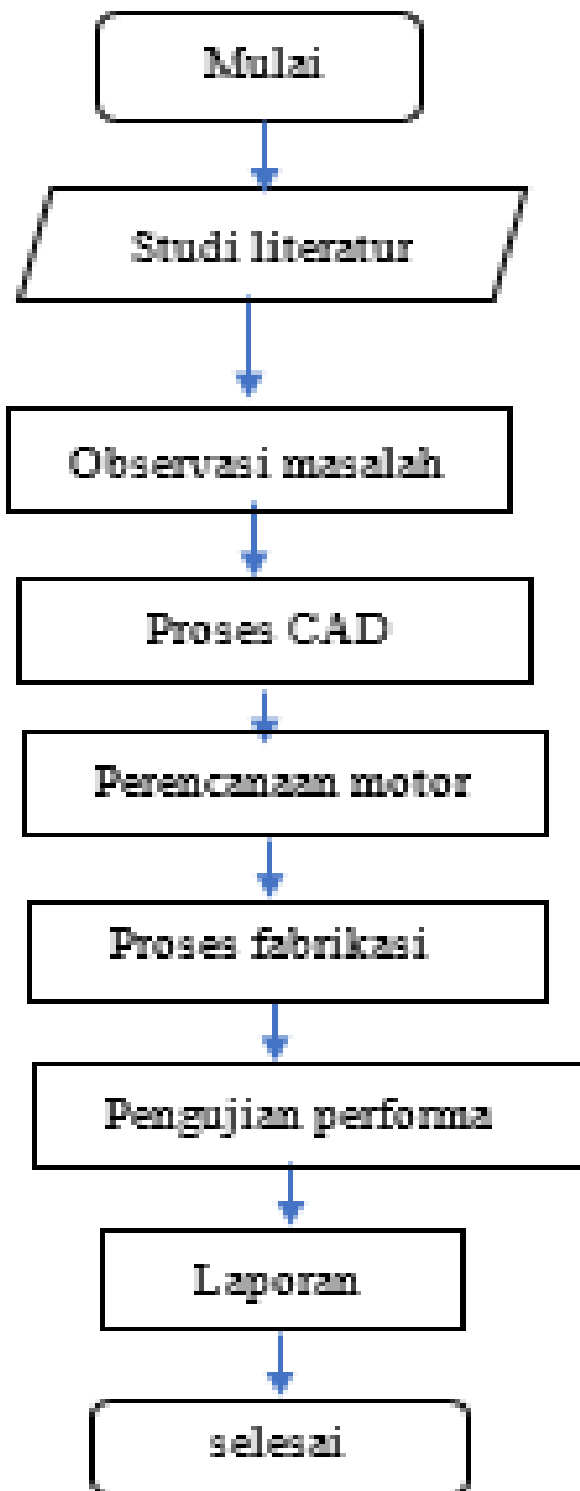
No.	Panjang sisi			
	AD	BC	AB	CD
1	40,08	40,05	20,14	20,11
2	39,96	39,9	19,93	19,98
3	39,92	39,98	19,99	20,06
4	39,93	39,93	19,95	19,95
5	40,02	40,02	20,09	20,09
Rata-rata	39,982	39,976	20,02	20,04

Tabel 3.
Hasil Pengujian Performa Z

No.	Jarak Target	Jarak sebenarnya	Selisih
1	100mm	99,8	-0,2
2	100mm	99,90	-0,1
3	100mm	99,86	-0,14
4	100mm	100	0
5	100mm	100	0
Rata – rata			0,1 mm

harus menjadi perhatian karena apabila fraktur pada tulang tengkorak mendapa tkan penanganan yang sedikit tidak tepat, akan mengakibatkan cedera yang lebih parah terhadap otak dan cacat permanen fisik pada korban [2-4]. Tulang dapat patah bila kekuatan berlebihan pada lokasi dampak serta menyebabkan kerusakan struktur fisik, dimana kerusakan tersebut dapat terjadi bahkan dalam tanpa/ketidaan fraktur. Rekonstruksi defek adalah salah satu cara penanganan yang tepat untuk fraktur/defek tulang tengkorak (cranial bone defects). Rekontruksi defek tersebut diperlakukan agar memberi perlindungan pada organ otak dan wajah. Cranioplasty dilakukan dapat melalui rekonstruksi dengan menggunakan material metal (titanium), polimer (PMMA (polymethylmethacrylate), PE (polyethelene), maupun karet silicon) [5].

Saat ini, perkembangan printer 3D teknologi FDM yang telah digunakan sebagai bidang, salah satunya bidang medis. Penerapan printer 3d untuk bidang medis juga telah banyak dilakukan di banyak negara termasuk Indonesia, yaitu



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

pencetakan prosthesis kaki palsu, tangan palsu dan ortosis, *exoskeleton post stroke*, perencanaan bedah [6-11].

Selain itu saat ini penggunaan printer 3d teknologi FDM sudah digunakan pada pembuatan implan dalam proses pembuatan implant [12-13]. Pembuatan *lowcost custom implant* untuk negara berkembang menggunakan metode *injection moulding*, dimana printer 3d digunakan untuk mencetak molding konstruksi tulang, salah satunya tulang tengkorak. Metode *injection moulding* ini memiliki ketelitian yang sangat baik [14]. Selain itu terdapat juga filamen biomaterial PEEK yang telah digunakan di negara-negara

maju. Di Negara-negara maju telah menggunakan printer 3D untuk mencetak secara langsung dengan menggunakan filamen biomaterial ini membutuhkan printer 3D yang memiliki ketepatan dimensi.

Ketepatan mesin printer 3D rata-rata 0,2 mm dengan mekanisme corexy dengan linear rail bisa mencapai 0,1mm. Oleh karena itu muncul kebutuhan akan 3D Printer FDM untuk filamen biomaterial PEEK menjadi prioritas untuk ketepatan dimensi. Ketepatan dimensi dari printer 3D dilakukan pengambilan data dari perencanaan kebutuhan motor dan pengujian performa ketepatan dimensi.

II. METODOLOGI

Pada penyusunan jurnal ini prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yang terdapat pada diagram alir rancang bangun bio3Dprinter pada Gambar 1.

A. Studi Literatur

Studi literatur meliputi pencarian dan studi literatur mengenai proses 3D printer, wiring and control planning, dan komponen material printer 3D. Studi literatur berasal dari berbagai buku, diktat, jurnal publikasi, tugas akhir, dan internet.

B. Perumusan Masalah

Dari studi literatur, kami memperoleh informasi terkait printer 3D. Informasi tersebut berupa dimensi, struktur rangka, jenis material yang digunakan, jenis komponen elektronik, dan pemilihan jenis firmware printer 3D. Dari informasi yang diperoleh, diperoleh suatu masalah. Masalah dimensi dan kinerja mesin dapat dipicu oleh sebuah ide. Dalam penulisan ini, rumusan masalah dapat diselesaikan dari bagaimana proses perancangan dimensi mesin dan perancangan sistem kendalinya. Kemudian dari proses desain dapat diperoleh hasil kinerja dan kesimpulan.

C. Proses CAD

Dari studi literatur, tahap selanjutnya yaitu proses CAD Printer 3D. Dari permasalahan serta studi literatur maka diperoleh jenis teknologi printer yang akan digunakan serta berbagai komponen elektrikalnya yang akan memenuhi kebutuhan dari printer. Penggunaan printer yang ada saat ini yaitu teknologi FDM dengan mekanisme corexy [15].

Sedangkan untuk komponen elektrikalnya menggunakan board mikrokontroler 32-bit. Untuk mekanisme gerak corexy digabungkan linear rail yang akan membantu dalam ketelitian dari benda cetak (Gambar 2).

Setelah mendapatkan CAD selanjutnya menentukan kebutuhan motor yang digunakan untuk menggerakkan pada arah x, y, dan z. Untuk desain penggerak pada hotend menggunakan mekanisme corexy. Mekanisme corexy menggunakan belt dan pulley yang dihubungkan pada hotend dengan motor x dan y. Sedangkan untuk mekanisme gerak pada heatedbed menggunakan lead screw yang dihubungkan pada motor dengan kopling. Dalam perencanaan motor dilakukan perhitungan manual pada mekanisme gerak x, y, z dan gerak diagonal. Perhitungan kebutuhan motor menggunakan rumus dari buku mechanic design dan timing belt calculation yang diperoleh rumus untuk penyelesaian pada sumbu x dan y yaitu:

$$FU = Ff + FA$$



Gambar 2. Isometri mesin 3D printer.

$$F_f = N \times \mu$$

$$F_A = m \times a$$

Selanjut nya untuk pen yelesaian kebutuhan motor untuk mekanisme naik turun pada heated bed maka menggunakan rumus pada buku elemen mesin sulerso yang diperoleh rumus yaitu:

$$\sum F_y = -W + N_y \cos \lambda \cos a - F_f \sin \lambda$$

$$\sum F_x = -F + F_f \cos \lambda - N \sin \lambda \cos a$$

$$T = \frac{F D}{2}$$

D. Fabrikasi.

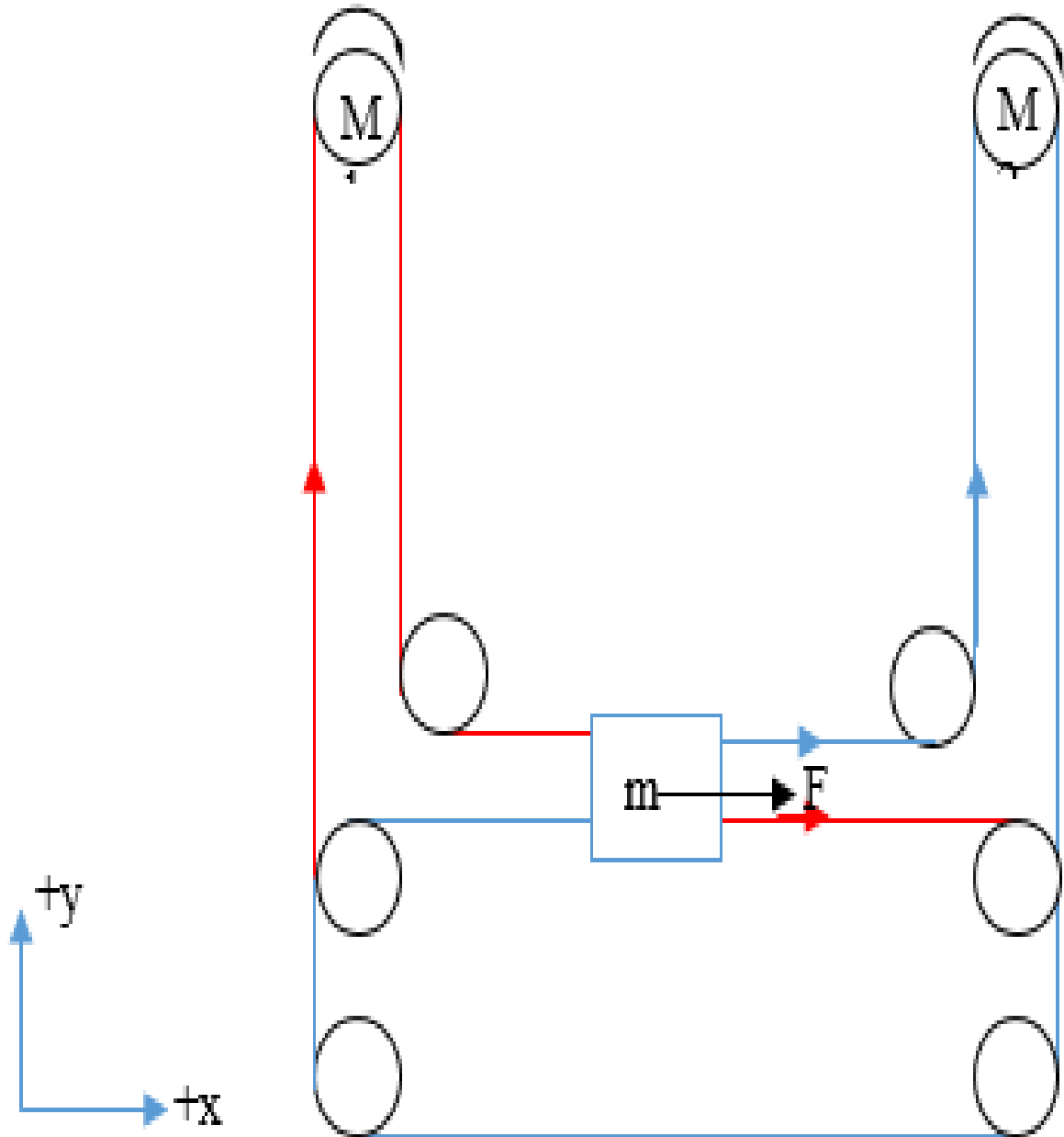
Dari perencanaan motor maka dilanjutkan fabrikasi rangka (Gambar 3). Fabrikasi rangka menggunakan profile aluminum profil. Aluminium profil sendiri memiliki sifat mekanik yang kaku serta ringan.

E. Pengujian performa.

Setelah fabrikasi tahapa selanjutnya yaitu pengujian performa. Pengujian performa yang akan dilakukan menggambar bangun persegi panjang pada sumbu x dan y. dalam pengujian gambar persegi panjang menggunakan pena dan buku gambar millimeter [16]. Dari pengujian gambar persegi panjang untuk memperoleh data ketepatan pada gerak hotend. Sedangkan untuk heatbed yang dimana gerak searah sumbu z akan dilakukan pengujian gerak pada titik tertentu yang dimana pada pegujian ini jarak yang digunakan yaitu 100mm. pengujian pada sumbu x, y dan z dilakuakn secara berulang sebanyak 5 kali.

III. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini pembuatan rancang bangun dilakuakn perhitungan kebutuhan motor pada gerak sumbu x, y,



Gambar 3. Diagram benda bebas gerak sumbu X.

diagonal dan z. sebelum perhitungan memerlukan data massa dari kebutuhan system yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Setelah memperoleh data Tabel 1 maka dailanjut ke tahap perencanaan kebutuhan motor pada setiap sumbu gerak sebagai berikut.

A. Metode Perhitungan Manual Motor pada Gerak Searah Garis Sumbu x

Dari Tabel 2, massa komponen dapat dimasukkan pada rumus perhitungan motor. Komponen yang dimasukkan pada rumus perhitungan yaitu massa hotend, stepper motor, linear rail, linear cariage, aluminium profil 2020. Sela njutnya akan diselesaikan dengan persamaan (1) sebagai berikut (Gambar 3):

$$FU = Ff + FA$$

$$Ff = N \times \mu = 14,05 N \times 0,004 = 0,1124 N$$

$$FA = m \times a = 1,434 \text{ kg} \times 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5,7 N$$

Dari daya diatas maka dapat dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan:

$$FU = \frac{2 \times 10^3 \times T}{d0}$$

$$FU = 5,7 N + 0,1124 N = 5,8124 N$$

$$FUx = \frac{5,8124 N}{2} = 2,9 N$$

$$FUx1 = \frac{2 \times 10^3 \times T1}{d0}$$

$$2,9 N = \frac{2 \times 10^3 \times T1}{12,5}$$

$$T1 = 0,018 Nm = 1,8 Ncm$$

Torsi yang dibutuhkan oleh pada motor 1 untuk menggerakkan nozzle searah sumbu x yaitu 1,8 Ncm. sedangkan untuk perencanaan kebutuhan motor pada sumbu y dan gerak diagonal maka diperoleh nilai masing – masing 2,7 Ncm dan 6,4Ncm.

B. Metode Perhitungan Manual Motor Gerak +Z

Pada perencanaan kebutuhan yang digunakan pada gerak sumbu +z terdapat mekanisme power screw yang dimana beban yang diterima motor anatara lain: heated bed, kaca, plat aluminium, dan benda cetak. Yang dimana masing-masing benda tersebut memiliki massa dan berat yang akan digunakan dalam perhitungan gerak sumbu +Z sebagai berikut.

$$\sum F_y = -W + N_y \cos \lambda \cos a - F_f \sin \lambda$$

$$N = \frac{W}{(\cos \lambda \cos a - \mu \sin \lambda)}$$

$$\sum F_x = F - F_f \cos \lambda - N \sin \lambda \cos a$$

$$F = \frac{W(l \cos a + \mu \pi D)}{(\pi D \cos a - \mu l)}$$

Dari perhitungan gaya diatas maka dapat dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan

$$T = \frac{F D}{2}$$

$$T = \frac{WD(l \cos a + \mu \pi D)}{2(\pi D \cos a - \mu l)}$$

$$T = \frac{70,56 \times 0,008 (0,002 \cos 14,5 + 0,19 \pi 0,008)}{2(\pi 0,008 \cos 14,5 - 0,19 \times 0,002)}$$

$$T = 0,083 Nm$$

Dari perhitungan diatas diperoleh torsi 0,0083 Nm untuk motor bekerja.

C. Metode Perhitungan Manual Motor Gerak -Z

Pada perencanaan kebutuhan yang digunakan pada gerak sumbu -z memiliki kesamaan pada beban massa saat gerak sumbu +Z maka perhitungan distribusi gaya arah y sebagai berikut

$$\sum F_y = -W + N_y \cos \lambda \cos a + F_f \sin \lambda$$

$$N = \frac{W}{(\cos \lambda \cos a + \mu \sin \lambda)}$$

Setelah itu dilakukan perhitungan distribusi gaya pada sumbu z dengan memasukkan hasil perhitungan distribusi gaya y sebagai berikut.

$$\sum F_x = -F + F_f \cos \lambda - N \sin \lambda \cos a$$

$$F = \frac{W(\mu \pi D - l \cos a)}{(\pi D \cos a + \mu l)}$$

Dari perhitungan gaya diatas maka dapat dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan

$$T = \frac{F D}{2}$$

$$T = \frac{WD(\mu \pi D - l \cos a)}{2(\pi D \cos a + \mu l)}$$

$$T = \frac{129,43 \times 0,008 (0,19 \pi 0,008 - 0,002 \cos 14,5)}{2(\pi 0,008 \cos 14,5 + 0,19 \times 0,002)}$$

$$T = 0,034 Nm$$

D. Hasil Pengujian performa

Pada tahap pengujian fungsi yaitu melakukan percobaan gerak pada aksis x dan aksis y. Pengujian ini menggunakan pen 0,5 mm dengan media kertas gambar Milimeter berukuran A4. Dalam mengujian menggambar persegi dengan panjang 40mm dan lebar 20 mm dan digerakkan menggunakan motor stepper dengan mekanime belt. Dari pengujian tersebut maka diperoleh data pada Tabel 2. Hasil pengujian performa gerak sumbu z diperoleh data pada Tabel 3.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, didapatkan kesimpulan bahwa: (1) Perencanaan kebutuhan motor masing-masing gerak searah sumbu x , y , z dan gerak diagonal diperoleh nilai 0,1. (2) Pengujian ketepatan pada mekanisme corexy dengan belt pulley ditambah dengan linear rail diperoleh nilai ± 0,1 mm dan untuk mekanisme ulir pada mekanisme gerak heatedbed didapat nilai yang sama yaitu 0,1 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHO, *Global Status Report on Road Safety 2018*, 1st ed. France: World Health Organization, 2018.
- [2] M. F. R. Gabrielli, M. A. C. Gabrielli, E. Hochuli-Vieira, and V. A. Pereira-Fillho, "Immediate reconstruction of frontal sinus fractures: review of 26 cases," *J. oral Maxillofac. Surg.*, vol. 62, no. 5, pp. 582–586, 2004, doi: 10.1016/j.joms.2003.08.026.
- [3] M. Cabraja, M. Klein, and T.-N. Lehmann, "Long-term results following titanium cranioplasty of large skull defects," *Neurosurg. Focus*, vol. 26, no. 6, p. E10, 2009, doi: 10.3171/2009.3.FOCUS091.
- [4] E. Caro-Osorio, R. la Garza-Ramos, S. R. Martinez-Sánchez, and F. Olazarán-Salinas, "Cranioplasty with polymethylmethacrylate prostheses fabricated by hand using original bone flaps: Technical note and surgical outcomes," *Surg. Neurol. Int.*, vol. 4, 2013, doi: 10.4103/2152-7806.119535.
- [5] H. B. Dumbrigue, M. R. Arcuri, W. E. LaVelle, and K. J. Ceynard, "Fabrication procedure for cranial prostheses," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 79, no. 2, pp. 229–231, 1998, doi: 10.1016/S0022-3913(98)70222-7.
- [6] A. D. Junianto and D. Kuswanto, "Desain kaki palsu untuk membantu aktivitas berjalan pada tuna daksa transtibial dengan menggunakan rapid prototyping dan reverse engineering," *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 15–18, 2018, doi: 10.12962/j23373520.v7i1.29934.
- [7] 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," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.
- [8] D. Kuswanto, A. Syaifudin, M. Rahman, and F. R. Dhafin, "Customizable Design of 3D Printed BodyPowered Prosthesis for Trans-Radial and Shoulder Disarticulation Amputees," *2nd International Conference on Bioinformatics, Biotechnology and Biomedical Engineering (BioMIC)-Bioinformatics and Biomedical Engineering*, vol. 1. IEEE, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/BioMIC48413.2019.9034701.
- [9] D. Kuswanto, S. Ni'amah, and F. A. Rahma, "Development of Orthosis Design for Spastic Cerebral Palsy Through Biomechanical Approach," *3rd International Conference on Science and Technology-Computer (ICST)*. IEEE, pp. 82–86, 2017.
- [10] D. Kuswanto, B. Iskandriawan, and P. S. Mahardhika, "Power Grip Exoskeleton Design as Rehabilitation Devices for Post-Stroke Survivors," *2018 1st International Conference on Bioinformatics, Biotechnology, and Biomedical Engineering-Bioinformatics and Biomedical Engineering*, vol. 1. IEEE, pp. 1–6, 2018.
- [11] D. Kuswanto, I. A. Wicaksono, and F. Agustin, "The Comparison of Material and Force Difference on The Development of Lower Limb Exoskeleton Design for Post Stroke Patients," in *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, 2018, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICSTC.2018.8528709.
- [12] A. Dawood, B. M. Marti, V. Sauret-Jackson, and A. Darwood, "3D printing in dentistry," *Br. Dent. J.*, vol. 219, no. 11, pp. 521–529, 2015.
- [13] A. Haleem and M. Javaid, "Polyether ether ketone (PEEK) and its 3D printed implants applications in medical field: An overview," *Clin.*

- Epidemiol. Glob. Heal.*, vol. 7, no. 4, pp. 571–577, 2019, doi: 10.1016/j.cegh.2019.01.003.
- [14] D. Kuswanto, A. E. Tontowi, T. Hidayat, A. Windharto, and A. Kurniawan, “Analisa akurasi geometri penggunaan metode injection moulding berbasis printer 3D untuk produksi implan pada bedah cranioplasty,” *J. Desain Idea J. Desain Prod. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya*, vol. 16, no. 1, pp. 17–22, 2017, doi: 10.12962/iptek_desain.v16i1.2832.
- [15] A. A. N. Amri and W. Sumbodo, “Perancangan 3D printer tipe core XY berbasis fused deposition modeling (FDM) menggunakan software autodesk inventor 2015,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 110–115, 2018, doi: 10.21831/dinamika.v3i2.21407.
- [16] R. L. Mott, E. M. Vavrek, and J. Wang, *Machine Element in Mechanical Design*, 1st ed. New York: Pearson Education, 2014.