

Efektifitas Biaya Penggunaan Teknologi Pencetakan 3D (Industri 4.0) pada Alat Bantu Ortotik Prostetik

Gatot Sunarto

Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Institut Ilmu Kesehatan (IIK) Strada Kediri, Indonesia;
davio34@gmail.com (koresponden)

Katmini

Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Institut Ilmu Kesehatan (IIK) Strada Kediri, Indonesia;
katminitini@gmail.com

Agusta Dian Eliana

Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat, Institut Ilmu Kesehatan (IIK) Strada Kediri, Indonesia;
agustadian85@gmail.com

ABSTRACT

The main problem faced by the provision of prosthetic orthotic assistive device services carried out in hospitals is the unfulfilled guidelines, standards and quality of prosthetic orthotic assistive devices. Assistive devices for children are complex due to their small size, constant growth and psychosocial development. With the 3D printing method that can be used as a new method in the development of prosthetic orthotic aids, the manufacture of prosthetic orthotic aids can be done at a lower cost but with better quality and standards, as well as higher accessibility so that every child can afford it. The purpose of this study is to analyze the cost-effectiveness of using 3D printing technology on prosthetic orthotic devices, through a systematic review. To collect literature, the PRISMA method was used. Based on the results of the review it is known that the development of a prosthesis assistive device model using 3D technology can now be carried out. To create cost efficiencies in order to produce prosthesis aids that are cheaper and affordable by the middle and lower economic class, the use of 3D printing technology can be an alternative solution.

Keywords: orthotic; prosthetics; 3D printing

ABSTRAK

Permasalahan utama yang dihadapi oleh pemberian layanan alat bantu ortotik prostetik yang dilakukan di rumah sakit adalah belum terpenuhinya pedoman pedoman, standar dan kualitas dari alat bantu ortotik prostetik. Alat bantu bagi anak-anak cukup kompleks karena ukurannya yang kecil, pertumbuhan yang konstan, dan perkembangan psikososial. Dengan adanya metode pencetakan 3D yang dapat digunakan sebagai metode baru dalam pengembangan alat bantu ortotik prostetik, pembuatan alat bantu ortotik prostetik dapat dilakukan dengan biaya yang lebih rendah namun dengan kualitas dan standar yang lebih baik, serta aksesibilitas yang lebih tinggi sehingga mampu didapatkan oleh setiap anak. Tujuan studi ini adalah menganalisis efektifitas biaya penggunaan teknologi pencetakan 3D pada alat bantu ortotik prostetik, melalui suatu *systematic review*. Untuk mengumpulkan literatur, digunakan metode PRISMA. Berdasarkan hasil tinjauan diketahui bahwa pengembangan model alat bantu prostesis menggunakan teknologi 3D saat ini dapat dilaksanakan. Untuk menciptakan efisiensi biaya agar menghasilkan alat bantu prostesis yang lebih murah dan terjangkau oleh masyarakat ekonomi kelas menengah ke bawah penggunaan teknologi pencetakan 3D dapat menjadi alternatif solusi.

Kata kunci: ortotik; prostetik; pencetakan 3D

PENDAHULUAN

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sekitar 10% dari populasi Sekitar 650 juta orang di seluruh dunia hidup dengan disabilitas atau cacat dan sekitarnya, termasuk mereka yang tidak mampu berpikir atau belajar 80% tinggal di negara berpenghasilan rendah⁽¹⁾. Disabilitas adalah gangguan atau penurunan fungsi yang dapat diukur/diobservasi secara objektif, yang disebabkan oleh hilangnya/tidak normalnya bagian tubuh seperti tidak adanya lengan, kelumpuhan pada beberapa bagian tubuh. Kecacatan ini dapat menetap pada seseorang, dapat menghasilkan perilaku yang berbeda pada orang yang berbeda, misalnya kerusakan otak dapat membuat orang tersebut cacat intelektual, hiperaktif, buta dan lain-lain.

Salah satu isu penting terkait disabilitas adalah bahwa jumlah anak-anak yang mengalami amputasi secara kecelakaan traumatis dan cacat bawaan sejak lahir meningkat. Kebutuhan prostetik anak-anak sangat kompleks karena ukurannya yang kecil, pertumbuhan yang konstan, dan perkembangan psikososial. Perangkat bertenaga listrik (yaitu, *myoelectric*) dan bertenaga tubuh (yaitu, mekanis) telah dikembangkan untuk mengakomodasi kebutuhan anak-anak, tetapi biaya pemeliharaan dan penggantian merupakan kendala bagi banyak keluarga terutama ketika asuransi swasta dan pendanaan pemerintah tidak mencukupi. Karena kerumitan dan biaya tinggi dari tangan palsu ini, kesulitan akses dirasakan oleh anak-anak dari keluarga berpenghasilan rendah, atau dari negara berkembang.

Program jaminan kesehatan nasional (JKN) merupakan program pemerintah di bidang kesehatan, dengan tujuan menjamin agar peserta memperoleh manfaat pemeliharaan kesehatan dan perlindungan dalam memenuhi dasar Kesehatan⁽²⁾. Semua peserta BPJS Kesehatan yang mendapatkan pelayanan alat kesehatan diluar tubuh diantaranya: 1) Kacamata, 2) Alat bantu dengar (*hearing aid*), 3) Prothesa gigi/gigi palsu, 4) Penyangga leher (*collar neck/cervical collar/neck brace*), 5) Jaket Penyangga Tulang (*Corset*), 6) Prothesa alat gerak (kaki dan/atau tangan tiruan), 7) Alat bantu gerak berupa kruk penyangga tubuh. Perkembangan pelayanan ortotik prostetik saat ini dirasakan masih lambat, sedangkan kebutuhan akan alat ortotik prostetik terbilang tinggi mengingat jumlah difabel (ekstremitas) juga tinggi. Data BPS menyatakan bahwa jumlah penyandang difabel di Indonesia mencapai

angka sekitar 3% dari total jumlah penduduk. Sekitar 6 juta lebih adalah penyandang difabel di Indonesia. Namun demikian, baru sekitar 18% yang telah menggunakan alat ortotik prostetik.

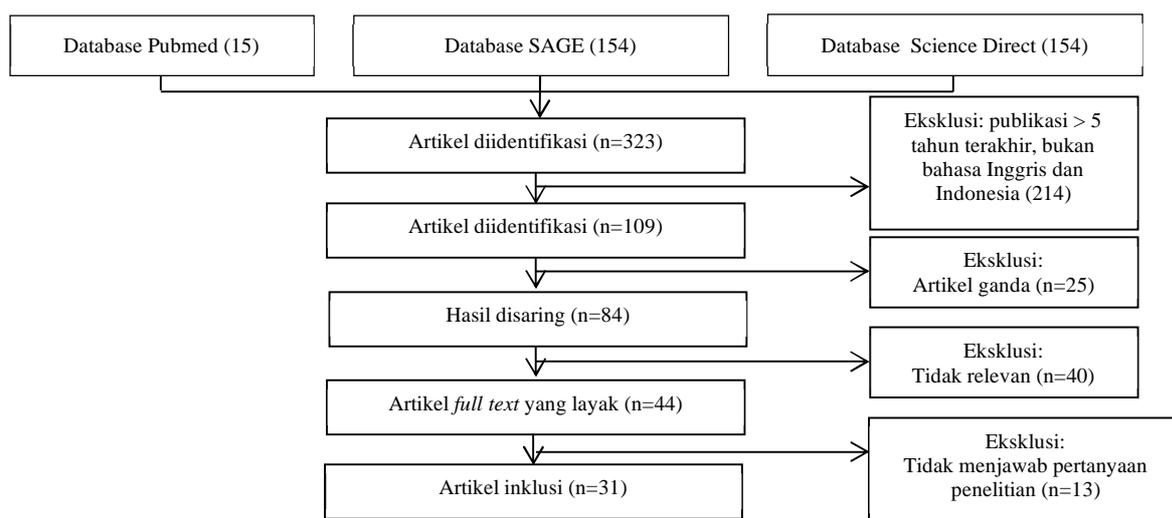
Protesis pada umumnya yang digunakan dalam penelitian sebelumnya dibuat secara manual dan disesuaikan dengan kebutuhan pasien dan morfologi kondisi tangan tertentu. Metode ini biasanya memakan waktu yang lama dan padat karya. Kemajuan teknologi telah menggeser metode tradisional ke manufaktur aditif, dalam bahasa sehari-hari dikenal sebagai pencetakan 3D, berkembang pesat tidak hanya di berbagai bidang bisnis, tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari konsumen⁽³⁾. Pengenalan pencetakan 3D untuk pembuatan protesis telah menghasilkan strategi untuk mengurangi biaya produksi baru, memiliki aksesibilitas yang lebih baik dan kustomisasi desain prostetik. Publikasi sebelumnya telah menyarankan bahwa protesis tangan yang dicetak Cyborg Beast 3 D dapat memiliki dampak positif pada fungsi dan aktivitas kehidupan sehari-hari⁽⁴⁾. Kemajuan dalam program desain berbantuan komputer atau computer-aided design (CAD), manufaktur aditif, dan perangkat lunak pengedit gambar sangat membantu dalam mendesain, mencetak, dan memasang perangkat tangan palsu dari jarak jauh dan dengan biaya yang sangat rendah⁽⁵⁾.

Pelayanan alat bantu ortotik prostetik yang dilakukan di rumah sakit saat ini masih banyak yang difabrikasi dengan cara konvensional dan masih belum memenuhi pedoman, standar dan kualitas alat ortotik prostetik sehingga aspek ini masih harus ditingkatkan. Pengembangan alat bantu ortotik prostetik saat ini masih terkendala dengan masih banyaknya bahan produksi yang berasal dari luar negeri (impor) sehingga disamping biaya mahal juga tidak efisien. Kekurangan dan hambatan penerapan adalah belum adanya analisa dampak teknologi pada biaya pembuatan alat bantu ortotik prostetik, belum terealisasi anggaran alat pencetak 3D dan ruangan khusus pencetakan 3D di rumah sakit.

Berdasarkan latar belakang masalah, peneliti tertarik untuk mencari bukti secara empiris tentang efektivitas penggunaan teknologi pencetakan 3D pada alat bantu ortotik prostetik sehingga tujuan penelitian yang hendak dicapai adalah untuk mengetahui apakah teknologi pencetakan 3D Printing lebih murah dibandingkan dengan metode manual, untuk mengetahui apakah teknologi pencetakan 3D Printing membutuhkan pekerja lebih sedikit, dan mengetahui perbedaan kecepatan dalam proses pelayanan ortotik prostetik menggunakan teknologi 3D printing dengan metode manual.

METODE

Penelitian ini merupakan tinjauan sistematis dengan menggunakan metode *Systematic Review*. Pencarian literature dilakukan pada database dari PubMed, Sage, ScienceDirect. Artikel diidentifikasi tahun terbit dari tahun 2016-2021 Kata kunci menggunakan MeSH word “cost effectiveness OR Low Cost” AND “3D Print OR addatuve Manufacture” AND “orthotic OR Orthosis”; AND “Prosthetic OR Prosthesis”. Jenis artikel yang digunakan adalah full paper, medicine and health, orthopedic, prosthetic and orthotic, berbahasa Indonesia dan inggris dan open acces sedang yang tidak full paper dan publikasi yang tidak berbahasa inonesia dan inggris telah di eliminasi. Kelayakan studi dinilai menggunakan kerangka kerja PICOT. Tahap selanjutnya dilakukan skrining judul dan abstrak dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi artikel yang tidak relevan. Kriteria inklusi adalah (i) artikel yang full paper (ii) open acces (iii) menggunakan metode penelitian kuantitatif (iv) penggunaan 3d print pada ortotik prostetik. Hasil utama: melihat efektifitas pencetakan 3D print pada alat bantu ortotik prostetik. Penilaian kualitas didasarkan pada daftar periksa PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses*) untuk memperkuat laporan.



Gambar 1. Diagram alir PRISMA

HASIL

Sebanyak 323 referensi diidentifikasi dalam pencarian *database*, 109 diantaranya dianggap memenuhi syarat untuk dimasukkan berdasarkan penilaian judul dan abstrak. Setelah *review* artikel lengkap, 44 artikel penelitian terpilih dan dimasukkan untuk penelitian. Jumlah artikel dalam tinjauan sistematis ini adalah 31 dengan

responden dan jenis intervensi yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil pencarian literatur terkait dengan protesis dan ortosis dengan pencetakan 3D printing disajikan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil pencarian literatur

No	Author	Device	Participants	Aims	Outcomes
1.	Van der Stelt et al	3D-printed transibial prosthetics	Masyarakat ekonomi menengah ke bawah pedesaan di Sierra Leone	Menginisiasi pembuatan alat bantu transibial prostetik dengan biaya yang efisien	Hasil uji coba membantu masyarakat miskin di pedesaan merasakan alat bantu protesis dengan harga rendah
2.	Ku I, et al.	Low-cost single-channel myoelectric-interface 3D hand prosthesis	Sepuluh pasien	Mengembangkan tangan prostetik dengan myoelectric berteknologi cetak 3D modern yang berbiaya rendah	Selama 3 bulan, rata-rata skor OPUS-UEFS pasien meningkat secara signifikan dari 45,50 menjadi 60,10.
3.	Prakash A, Sharma S.	Low-cost transradial prosthesis controlled by the intention of muscular contraction.		Mengembangkan protesis transradial yang terjangkau, dikendalikan oleh kontraksi otot. Sensor EMG permukaan secara eksplisit dibuat untuk menangkap informasi kontraksi otot dari sisa lengan subjek dengan amputasi.	Sensor yang dirancang menunjukkan korelasi yang baik ($r > 0,93$) dan fitur rasio signal-to-noise (SNR) yang lebih baik dibandingkan sensor konvensional.
4.	Vujaklija I, Farina D.	3D printed upper limb prosthetics.		Mengembangkan penyediaan prostetik dengan biaya murah. namun memiliki kemampuan tingkat tinggi.	Alat berhasil dikembangkan dengan memiliki daya tahan, kekuatan cengkraman yang cukup untuk berbagai pengguna.
5.	Sreenivasan N.	Ultra Low-Cost Myoactivated Prosthesis.		Mengimplementasikan 3D-print untuk pembuatan model protesis tangan yang sederhana dan fungsional, mikrokontroler Arduino yang berbiaya rendah, dan sensor-sensor yang mendukung fungsionalitas alat bantu prostetik.	Model yang prostetik yang direncanakan berhasil direalisasikan dengan total biaya AUD30 karena menggunakan komponen yang tidak terlalu banyak namun dengan fungsionalitas memadai. Hal ini membuat perakitan alat bantu menjadi lebih mudah dan tahan lama.
6.	Cuellar JS, et al.	3D-printed hand prosthesis featuring articulated bio-inspired fingers.		Menerapkan pendekatan yang terinspirasi dari bio pada desain dan fabrikasi jari artikulasi untuk jenis baru protesis tangan cetak 3D yang bertenaga tubuh dan sesuai dengan persyaratan dasar pengguna.	Berhasil mengembangkan tangan prostetik yang ditenagai oleh tubuh, berbiaya rendah dan bobot yang ringan.
7.	Zuniga J, et al.	Low-cost 3d-printed prosthetic hand	Anak-anak	Menggambarkan tangan palsu cetak tiga dimensi (3D) berbiaya rendah untuk anak-anak	Perangkat prostetik memiliki potensi signifikan untuk berdampak positif pada kualitas hidup dan penggunaan sehari-hari, dan dapat digabungkan dalam beberapa aktivitas di rumah dan di sekolah.
8.	Zuniga JM, et al.	Low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses	Anak-anak	Untuk mengembangkan alat bantu protesis bahu mekanis cetak tiga dimensi yang berbiaya rendah untuk membantu subjek yang dipilih sebelumnya dalam melakukan aktivitas bi-manual.	Keluarga pasien juga melaporkan peningkatan keseimbangan dan kinerja setelah 2 minggu menggunakan perangkat.
9.	Esposito D, et al.	The "Federica" Hand		Mengembangkan tangan prostetik 3D yang dilengkapi dengan servomotor tunggal, yang secara sinergis menggerakkan kelima jarinya dengan tendon yang tidak dapat diperpanjang; tidak ada pegas yang digunakan untuk membuka tangan.	Tangan prostetik yang dikembangkan dapat mendukung fungsionalitas aktivitas sehari-hari dengan biaya rendah kurang dari 100 USD, namun penelitian ini menggunakan servomotor yang lebih murah dalam proses pengembangannya.
10.	Leal-Naranjo JA, et al.	Low-Cost 7-DOF Prosthetic Arm for Shoulder Disarticulation		Menyajikan desain perangkat prostetik murah untuk disartikulasi bahu. Desain mekanisme yang tepat telah ditunjukkan untuk mendapatkan prototipe yang menyajikan 7 derajat kebebasan.	Hasil dari karya ini adalah sebuah prototipe seberat 1350g yang mampu melakukan gerakan-gerakan yang berhubungan dengan aktivitas kehidupan sehari-hari.
11.	Alturkistan R, et al.	3D-printed prosthesis		Merancang dan mengembangkan protesis tangan parsial spesifik pasien yang terjangkau untuk negara berkembang.	Protosis dapat meningkatkan kemampuan penanganan manual pasien, terutama dalam bentuk stabilitas 12.genggaman. Protosis ringan dan dapat dikenakan dan dilepas mandiri.
12.	Maricevic h JPBR, et al	Low-cost 3D printing prostheses		Mengevaluasi perbaikan gejala dan estetika pasien dengan defek kranial akibat kraniektomi dekompresi setelah rekonstruksi dengan PMMA yang disesuaikan.	Penggunaan prototipe untuk menyesuaikan protesis tengkorak memfasilitasi teknik operasi dan memungkinkan pemulihan kontur tengkorak sangat mendekati normal.
13.	Cruz RLJ, et al.	Ear prostheses.	Pasien	Mengembangkan kerangka kerja manufaktur canggih yang menggunakan pemindaian tiga dimensi, desain berbantuan komputer, dan manufaktur berbantuan komputer untuk membuat protesis telinga khusus pasien secara efisien.	Biaya rata-rata pengembangan alat bantu sekitar \$3 untuk bahan habis pakai dan \$116 untuk 2 jam kerja. Hal ini memberikan potensi alternatif biaya rendah, dan akurasi tinggi untuk teknik saat ini, mudah diterjemahkan ke protesis lain, dan memiliki potensi pengurangan biaya.

No	Author	Device	Participants	Aims	Outcomes
14.	Omar S, et al.	3D-Printed Prosthetic Hand	.	Menerapkan tangan palsu yang dicetak 3D berdasarkan model open source, menjelaskan masalah yang dihadapi, dan melakukan analisis kontrol berbasis tugas untuk aktivitas kehidupan sehari-hari	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa fungsi alat yang dikembangkan dapat menunjang aktivitas sehari-hari.
15.	Zheng Y, et al	3D-printed orthosis	40 pasien stroke hemiparetik kronis dengan kelenturan fleksor pergelangan tangan	Membandingkan efek dua jenis wrist-hand orthosis terhadap spastisitas fleksor pergelangan tangan pada pasien stroke kronis.	Orthosis pergelangan tangan yang dicetak tiga dimensi lebih unggul daripada orthosis cock-up. Nyeri pergelangan tangan berkurang pada kelompok yang memakai orthosis pergelangan tangan cetak tiga dimensi serta kelompok yang memakai orthosis cock-up, sehingga orthosis pergelangan tangan cetak tiga dimensi mungkin dapat memainkan peran yang sama dengan orthosis cock-up.
16.	Kim, S. J, et al	Personalized wrist orthosis	22 pasien dengan nyeri pergelangan tangan secara acak dimasukkan ke dalam kelompok kontrol dan eksperimen.	Untuk mengembangkan orthosis pergelangan tangan yang dipersonalisasi menggunakan pemindai tiga dimensi dan printer tiga dimensi untuk pasien dengan nyeri pergelangan tangan.	Evaluasi menunjukkan penghilang rasa sakit yang signifikan pada kedua kelompok. 2 dari 28 pertanyaan Survei Pengguna Ortosis dan Prostetik, "Taruh pasta gigi pada sikat dan sikat gigi" dan "Telepon noda sentuh", menunjukkan skor kepuasan yang tinggi, dengan perbedaan yang signifikan secara statistik pada kelompok eksperimen.
17.	Waluyo, D. A	Orthosis Tangan Dengan Metode Reverse Engineering Dan Rapid Prototyping		Menjelaskan metodologi pembuatan prototipe orthosis tangan 3D, melalui metode Additive manufacturing (AM) dan Reverse Engineering (RE), yang disajikan sebagai teknologi alternatif yang sangat baik untuk memecahkan masalah cetakan plester tradisional	Hasil dari bentuk orthosis dari bentuk geometri tangan pasien sudah sesuai dengan kebutuhan pasien serta kelebihan dari konsep desain orthosis juga sudah sesuai dengan yang direncanakan.
18.	Baker, C, & Denikka, B	Manufacturing for Economical, User-Accessible Upper-limb		Merancang dan memproduksi sebuah prostesis lengan atas 3D. Mengidentifikasi pengguna akhir, menghasilkan persyaratan pelanggan, mengevaluasi dan menghasilkan spesifikasi teknik.	Prostetik yang dicetak dapat berfungsi sebagai pilihan ekonomis karena kami dapat mencetak dan merakit tangan prostetik hanya dengan \$25. Tetapi yang lebih penting, prostetik cetak 3D dapat mendorong kemandirian orang yang diamputasi.
19.	Gretsch, K. F, et al	3D-printed robotic prosthetic		Merancang prostesis untuk pasien dengan amputasi ekstremitas transradial. Prostesis ini dikendalikan oleh bahu dan ditengagai secara eksternal dengan perangkat terminal antropomorfik.	Keterbatasan prostetik yang didesain terletak pada kekuatan cengkraman yang rendah dan penurunan daya tahan dibandingkan prostetik pasif. Keuntungan dicatat. Gerakan ibu jari independen memfasilitasi genggam objek, perangkat ini memiliki berat kurang dari prostesis bertenaga eksternal kebanyakan, dan ukurannya mudah diskalakan.
20.	Hale, L., Linley, E., & Kalaskar, D. M.	Orthoses using 3D scanning and printing	Pasien	Merancang perangkat dipesan pasien tanpa terapi alternatif yang layak. Alur kerja dikembangkan untuk menghasilkan geometri cetak 3D dari data pemindaian 3D yang diperoleh. untuk menderuskan geometri, mendistribusikan material secara efisien dan memotong variasi bahan bantalan orthosis.	Produksi cepat orthosis yang dipersonalisasi dapat membantu mengurangi waktu tunggu pasien, meningkatkan kepatuhan pasien, mengurangi rasa sakit, dan mengurangi kerusakan lebih lanjut.
21.	Zolfagharian, A., Lakhi, M., Ranjbar, S., & Bodaghi, M.	Custom Shoe Sole 3D Printing		Memperkenalkan prosedur desain untuk meningkatkan kenyamanan alas kaki individu dengan indeks berat badan dan persyaratan aktivitas dengan struktur kisi midsole sepatu cetak 3D yang disesuaikan.	Bahan cetak 3D umum yang sesuai dipilih bersama dengan memvalidasi sifat viskoelastiknya menggunakan analisis elemen hingga material yang digunakan. Desain struktur kisi dianalisis dalam berbagai kondisi pembebanan untuk menyelidiki kesesuaian metode dalam fabrikasi midsole sepatu cetak 3D yang disesuaikan berdasarkan spesifikasi individu menggunakan bahan tunggal dengan biaya, waktu, dan penggunaan bahan minimum.
22.	Santos, S, et al		Knee positioning orthosis	Mengeksplorasi kemampuan penggunaan pencetakan 3D dalam kustomisasi khusus pasien orthosis. Menggabungkan pemindaian 3D, pemodelan 3D, dan pencetakan 3D, mengusulkan dan menilai metode pembuatan produk yang dibuat khusus untuk obat rehabilitasi.	Orthosis pemosisian lutut berhasil dikembangkan menggunakan teknologi cetak gambar 3D, pemodelan parametrik, dan pencetakan 3D. Orthosis khusus ini diterima dengan baik oleh pasien dan dipilih dari serangkaian konsep lain.
23.	Ho et al	3D-printed foot orthoses	13 peserta yang memiliki FO	Membandingkan panjang orthotic, lebar, tinggi lengkung, dan tinggi heel cup dibandingkan. Menguji pasien untuk berjalan dalam tiga kondisi: (1) tidak ada orthosis, (2) orthosis cetak 3D, dan (3) orthosis yang dibuat	Orthosis yang dicetak tiga dimensi lebih lebar, memiliki ketinggian lengkungan yang lebih tinggi, dan ketinggian heel cup dibandingkan dengan FO yang dibuat secara tradisional Terdapat perbedaan persepsi kenyamanan antara ketiga kondisi orthotic namun tidak ada perbedaan dalam

No	Author	Device	Participants	Aims	Outcomes
				secara tradisional. Persepsi kenyamanan dicatat.	persepsi kenyamanan antara FO yang dicetak 3D dan tradisional.
24.	Nicoloso, LGD et al	Monocoque Transtibial Prosthesis	Pasien tim ABI Prosthetic and Orthotik	Menguraikan kemajuan yang dibuat oleh kelompok penelitian multidisiplin, yang tertarik untuk memajukan pemulihan gerakan manusia melalui prosthesis ekstremitas bawah yang dapat diakses.	Alur kerja bersama dengan pencetakan 3D, dapat membuat prosthesis kustom yang nyaman, fungsional, dibandingkan dengan perangkat prostetik tradisional. Biaya rata-rata, berat dan waktu produksi masing-masing diperlambat sebesar 95%, 55% dan 95%.
25.	Walbran et al	3D printed ankle foot	Pasien	Mengusulkan pendekatan baru untuk manufaktur AFO yang menggunakan teknologi manufaktur digital dan aditif untuk menyesuaikan kecocokan dan bentuk individu	Kemajuan telah dibuat dalam mengotomatisasi bagian dari proses desain yang secara signifikan akan mengurangi kebutuhan tenaga kerja dan karenanya waktu tunda manufaktur.
26.	Cha, Yong Ho et al	Ankle-foot orthosis	Pasien dengan lower leg	Menjelaskan teknik pencetakan 3D dan perangkat lunak desain otomatis dan hasil klinis setelah AFO diterapkan ke pasien	Pasien lebih puas dengan AFO yang dicetak 3D daripada AFO konvensional dalam hal bobot dan kemudahan penggunaan.
27.	Zuniga JM, et al.	3D-Printed Transitional Hand Prosthesis	Lima anak (2 perempuan dan 3 laki-laki, 3–10 tahun)	Mengidentifikasi antropometri, ROM aktif, dan perubahan kekuatan setelah 6 bulan menggunakan Tangan prostetik transisi yang dicetak 3D untuk defisiensi ekstremitas atas.	Jenis perangkat memberikan kepraktisan dan efektivitas biaya, cocok untuk negara berkembang, meningkatkan ROM dan lingkaran lengan bawah.
28.	Yoo, HJ et al	3D-printed myoelectric hand orthosis	10 peserta dengan SCI serviks kronis (9 pria, 1 wanita; rentang usia, 31–65 tahun)	Mengusulkan orthosis tangan cetak 3D baru yang dikendalikan oleh sinyal elektromiografi (EMG)	Ortosis tangan mioelektrik yang dicetak 3D intuitif, mudah digunakan, dan menunjukkan efek positif dalam kemampuannya menangani benda-benda yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari.
29.	Tong, Yuxin et al	Low-cost sensor-integrated 3D-printed personalized prosthetic hands for children	Anak berusia 12 tahun	Menunjukkan proses pencetakan 3D memungkinkan desain dan fabrikasi antarmuka manusia-mesin anatomi (AHMI) yang terintegrasi dengan sensor dalam bentuk tangan palsu yang dipersonalisasi untuk anak-anak, cacat lahir.	Integrasi proses pemindaian 3D dan pencetakan 3D menawarkan kemampuan untuk merancang dan membuat sistem yang dapat dipakai secara anatomis dan personal dengan biaya rendah dengan cepat.
30.	Swartz, AQ et al	Rapid prototype thumb prosthesis		Mengembangkan mekanisme penutupan sukarela, ibu jari yang digerakkan oleh tubuh untuk orang yang diamputasi sebagian tangan yang mengalami amputasi jari telunjuk dan ibu jari di tangan kiri yang tidak dominan.	Pasien mencapai fungsionalitas yang lebih tinggi dalam melakukan tugas sehari-hari seperti memasak dan membersihkan, dan dalam menyelesaikan uji Kotak dan Blok.
31.	Warder, HH et al	Carbon fiber reinforced three-dimensionally printed prosthetic feet		Memvalidasi penerapan teknik cetak tiga dimensi baru sebagai metode fabrikasi untuk membuat kaki palsu pasien pengguna akhir komposit serat	Kaki palsu tiga dimensi yang diperkuat serat karbon berpotensi sebagai alternatif murah untuk kaki palsu serat karbon dan memiliki kapasitas untuk berfungsi sebagai fabrikasi yang layak.

PEMBAHASAN

Dampak Pengembangan Teknologi 3D pada Prostetik

Informasi mengenai penggunaan prosthesis pada anggota gerak atas menjadi topik pembahasan yang paling banyak muncul dalam rentang waktu 5 tahun terakhir. Sejak tahun 2016 hingga tahun 2021, pengembangan alat bantu prosthesis menggunakan teknik pencetakan tiga dimensi kian meningkat. Metode yang paling banyak digunakan dalam pengembangan prosthesis transradial menggunakan teknik cetak 3D berdasarkan hasil analisis literatur adalah fused deposition modelling atau FDM. Teknik ini Teknologi memanfaatkan material utama berupa filamen logam atau bisa juga berupa filamen plastik yang akan memasok material ke bagian nozzle ekstrusi yang berfungsi sebagai konversi dan pengontrol. Bagian nozzle ini kemudian akan dipanaskan sehingga material filamen pada akhirnya akan mencair. Filamen yang telah mencair kemudian akan dideposisi secara horizontal maupun vertikal melalui algoritma numerik sebagai controller. Algoritma numerik ini dikendalikan melalui model berbantuan komputer (Computer Aided-Manufacturing/CAM) agar dapat membentuk suatu objek tiga dimensi yang terdiri dari beberapa layer melalui proses ekstrusi nozzle. Untuk filamen, yang paling banyak digunakan dalam penelitian rujukan adalah ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) dan PLA (Polylactic Acid).

Sebagian besar penelitian rujukan menggunakan indikator yang mirip dengan kemampuan fisiologis manusia. Beberapa indikator yang digunakan sebagai tolok ukur dalam pengembangan alat bantu prosthesis transradial pada penelitian rujukan meliputi berat, gaya genggam, kemampuan fisiologis, kecepatan respon dari sensor, kemampuan untuk mencubit, fungsionalitas, hingga skala perawatan yang diperlukan. Pada penelitian yang menggunakan jumlah sampel besar, diketahui bahwa alat bantu prosthesis transradial memiliki desain yang hampir serupa. Namun pada penelitian dengan jumlah pasien uji coba sedikit menunjukkan bahwa desain yang diberikan pada alat bantu prosthesis dapat disesuaikan dengan karakteristik personal yang ada pada diri pasien. Hampir seluruh penelitian menggunakan servomotorik maupun sensor aduino untuk melengkapi kemampuan yang dimiliki oleh alat bantu prosthesis tersebut.

Dalam penelitian rujukan yang digunakan, terdapat penelitian rujukan Van der Stelt *et al* ⁽⁶⁾ yang mengangkat topik mengenai pengembangan alat bantu prosthesis untuk transtibial (anggota gerak bawah). Pada penelitian tersebut metode yang digunakan adalah Computer Aided-Design (CAD) dan Computer Aided-

Manufacturing (CAM) yang memungkinkan produksi alat bantu dilakukan dalam jumlah besar. Pengembangan alat bantu prosteses untuk alat gerak tubuh bagian bawah (transtibial) yang dilakukan oleh van der Stelt ini adalah bagian dari program produksi massal alat bantu prosteses untuk low middle income countries (LMIC). Dalam hal ini negara tujuan adalah Sierra-Leonne. Penelitian van der Stelt ini menggunakan FDM dan material yang digunakan adalah PLA yang sama dengan penelitian lainnya.

Pencetakan 3D yang digunakan oleh van der Stelt ini memungkinkan waktu produksi yang lebih cepat: Waktu yang diperlukan untuk mencetak prostetik khusus berkurang secara signifikan jika dibandingkan dengan metode manufaktur konvensional seperti casting. Waktu produksi yang lebih cepat berarti kami dapat mengirimkan lebih banyak perangkat dalam periode yang lebih singkat, membawa kami selangkah lebih dekat ke tujuan kami untuk menyediakan perangkat ini kepada 38 juta orang yang diamputasi yang belum ditangani di seluruh dunia. Kenyamanan pemasangan khusus: Perangkat khusus berarti pemakainya tidak perlu khawatir lagi tentang prostetik yang terlalu besar atau kecil atau terlalu tidak nyaman. Ini berarti pasien yang lebih puas akan menggunakan perangkat untuk meningkatkan gaya hidup mereka dan anggota keluarga mereka. Lebih sedikit kunjungan ke klinik: Proses produksi digital yang lebih efisien berarti lebih sedikit perjalanan ke klinik. Metode desain digital memungkinkan prosthetist bersertifikat untuk melakukan sebagian besar pekerjaan secara virtual dan tanpa perlu pasien berada di ruangan yang sama. Pasien hanya perlu hadir secara fisik di lokasi untuk akuisisi data gambar dan untuk sesi pemasangan di akhir proses desain dan manufaktur.

Dampak Pengembangan Teknologi 3D pada Ortotik

Pada penelitian yang dijadikan rujukan oleh penelitian ini, berdasarkan analisis literatur yang dilakukan diketahui bahwa terdapat 4 penelitian yang membahas mengenai orthosis untuk anggota gerak atas. Mengacu pada hasil analisis literatur yang dilakukan, penggunaan teknologi pencetakan 3D untuk pembuatan alat bantu orthosis untuk anggota gerak atas menunjukkan hasil yang lebih murah, lebih sesuai standar, dan lebih cepat untuk dilakukan dibandingkan dengan produksi menggunakan metode konvensional.

Dibandingkan dengan instruksi pemodelan manual, penelitian-penelitian rujukan yang digunakan sebagai dasar analisis literatur seluruhnya menunjukkan bahwa model parametrik pada pencetakan 3D alat bantu orthosis lebih layak dibandingkan metode konvensional. Kelayakan menggunakan model parametrik untuk desain orthosis cetak 3D dan kemudahan penggunaannya yang lebih besar untuk tenaga medis pada beberapa penelitian ditunjukkan bahwa dua hal ini lebih baik bahkan jika dibandingkan dengan teknik pemodelan menggunakan Computer-Aided Design (CAD). Model parametrik diketahui dapat mengurangi proses kompleks desain orthosis menjadi beberapa menit, dan antarmuka yang disesuaikan dengan kebutuhan personal. Selain itu model parametrik memungkinkan disusunnya program pelatihan yang dapat mempercepat periode adaptasi penggunaan alat bantu orthosis.

Hasil dari latihan desain secara akurat mencerminkan situasi dunia nyata di mana pengguna yang tidak berpengalaman menggunakan generator serta menunjukkan kegunaan pendekatan model parametrik dan strategi untuk pelatihan dan antarmuka. Dengan demikian, dengan menggunakan teknologi pencetakan 3D, dimungkinkan untuk merancang sebuah orthosis dengan nilai numerik yang akurat dari dimensi melalui program desain dan membuat struktur yang sulit untuk diterapkan secara manual.

Saat membuat orthosis, offset 1-2 mm diterapkan pada sendi interphalangeal ibu jari dan MP, dan offset lain 2-3 mm diterapkan antara tulang metakarpal kelima dan sendi carpometacarpal. Dengan demikian, ruang yang cocok dibuat di permukaan bagian dalam antara ibu jari dan orthosis.

Dari penelitian rujukan, hanya terdapat 1 penelitian yang mengangkat topik mengenai pengembangan teknologi cetak 3D untuk orthosis alat gerak tubuh bagian bawah dengan biaya rendah. Pada penelitian tersebut, Tiga metode AM sedang dipertimbangkan, dipilih karena ketersediaannya dan sifat material yang diinginkan; (1) Selective laser sintering (SLS) dengan nilon, (2) Fused deposisi modeling (FDM) dengan asam Polylactic (PLA) dan (3) FDM modulus tinggi serat karbon diisi polietilen tereftalat (PETG).

PETG yang diisi karbon memberikan tegangan luluh tertinggi, dengan nilai 97 MPa. Ini diikuti oleh sampel PLA dengan tegangan luluh 88 MPa. Sampel PLA memberikan hasil dan regangan patah yang jauh lebih tinggi daripada PETG yang diisi karbon. Karena regangan hasil/retak yang lebih tinggi daripada PETG, tegangan hasil yang sangat mirip dan biaya pencetakan yang jauh lebih rendah, plastik PLA dipilih sebagai teknologi AM pilihan untuk semua cetakan ukuran penuh. Sebuah novel tersegmentasi 3D dicetak dan desain CFRP AFO telah diusulkan. Metode manufaktur telah dikembangkan sedemikian rupa sehingga otomatisasi segmen cetak 3D dapat dicapai dan secara signifikan akan mengurangi biaya tenaga kerja produksi AFO. Sebuah peralatan telah dikembangkan untuk menahan pergelangan kaki dalam posisi tetap selama pemindaian. Hal ini memungkinkan model tungkai dan kaki yang konsisten dan dapat diulang diperoleh secara relatif terlepas dari keterampilan operator dan pengendalian subjek. Ada banyak potensi untuk otomatisasi lebih lanjut dari proses desain AFO.

Sebuah mesin uji kekakuan telah dirancang dan dikembangkan yang memungkinkan pengujian empiris berulang dari kekakuan bidang sagital menggunakan antarmuka komputer. Mesin ini dapat digunakan untuk memverifikasi hasil kekakuan setelah pegas karbon diproduksi.

Tiga literasi desain AFO telah dikembangkan, masing-masing memperbaiki area yang dianggap kurang dalam desain sebelumnya. Hasil dari mesin uji kekakuan telah membuktikan integritas struktural yang baik dari desain AFO akhir.

Teknologi Pencetakan 3D Printing Dibandingkan dengan Metode Manual

Metode pencetakan 3D printing sudah dikenal dalam berbagai industri termasuk pembuatan alat bantu ortotik prostetik. Percetakan 3D printing lebih murah dibandingkan dengan metode manual. Ada beberapa hal

yang mendasarinya. Penghematan-penghematan seperti beban depresiasi/penyusutan, biaya perawatan dan pemeliharaan, dan bahan yang digunakan dapat dilakukan oleh industri yang memanfaatkan metode 3D printing. Perolehan untuk peralatan 3D printing biasanya lebih mahal di awal dibandingkan peralatan tradisional atau manual namun menghasilkan produktivitas dalam jangka panjang. Kaki palsu tiga dimensi yang diperkuat serat karbon misalnya berpotensi sebagai alternatif murah memiliki kapasitas untuk berfungsi sebagai fabrikasi yang layak⁽⁷⁾. Sederhananya, teknologi pencetakan dengan 3D printing dapat lebih menghemat biaya unit tambahan dibandingkan dengan pencetakan dengan proses produksi manual. Penelitian Van der et al (2021) mengenai prosthesis mengungkapkan bahwa alasan utama kurangnya rehabilitasi prostetik peserta adalah biaya yang tinggi⁽⁶⁾. Hal inilah yang melatarbelakanginya merintis prostetik transtibial cetak 3D berbiaya rendah untuk melayani penduduk pedesaan di Sierra Leone.

Penelitian yang dilakukan oleh Esposito et al (2021) membahas tentang pengembangan tangan prostetik Federica yang dapat mendukung fungsi kegiatan sehari-hari dengan biaya rendah⁽⁸⁾. Biaya rendah pada pembuatan tangan prostetik Federica dicapai karena kesederhanaan dalam perakitannya. Biaya rendah ini sekaligus menjadi alasan paling rasional bahwa tangan prostetik Federica cocok dikembangkan di negara miskin dan negara berkembang. Senada dengan yang diungkapkan oleh Esposito et al, beberapa penelitian mengungkapkan bahwa teknologi pencetakan dengan 3D printing telah menjadi tren baru, banyak diminati, dan telah hadir toko-toko yang melakukan penawaran produk hasil pencetakan dengan 3D printing dengan harga yang murah sehingga dapat menjadi solusi atas kebutuhan prostetik skala besar di negara-negara berpenghasilan rendah^(9,10). Integrasi proses pemindaian 3D dan pencetakan 3D mampu merancang sistem yang dapat dipakai secara anatomis dan personal dengan biaya rendah⁽¹¹⁾.

Analisis lebih lanjut, biaya pembuatan prostetik dengan metode 3D printing lebih rendah dibandingkan manual dikarenakan tenaga kerja yang dilibatkan lebih sedikit karena telah memanfaatkan kecanggihan teknologi. Secara tradisional, prostetik yang disesuaikan akan menelan biaya rata-rata sekitar £ 10.000. Ini sangat mahal dan banyak di antaranya tidak akan mampu membelinya. Namun, dengan pengembangan proyek open source prostetik cetak 3D, prostetik dapat dibuat kurang dari £400⁽¹²⁾. Gretsche, *et al* (2016) merancang prosthesis untuk pasien dengan amputasi ekstremitas transradial yang dikendalikan bahu dan ditenagai secara eksternal dengan perangkat terminal antropomorfik⁽¹³⁾. Pengguna dapat membuka dan menutup kelima jari, dan menggerakkan ibu jari secara mandiri. Perkiraan biaya adalah US\$300. Ini secara signifikan mengurangi biaya dibandingkan dengan perangkat non-cetak 3D. Bahkan Baker *et al* (2017) mengklaim prostetik lengan atas yang dicetaknya dapat berfungsi sebagai pilihan ekonomis karena dirakit hanya dengan \$25⁽¹⁴⁾. Perangkat berbiaya rendah diklaim menjadi solusi dalam mengatasi kendala keuangan karena menghabiskan biaya rendah di mana bahan-bahan yang digunakan mudah didapatkan seperti polipropilen dan kayu. Tidak jauh berbeda, Sreenivasan (2021) pada penelitiannya tentang pengembangan prostetik myoactivated menjelaskan bahwa pengimplementasian alat 3D ini murah dikarenakan komponen yang minim dan perakitan yang ringkas⁽¹⁵⁾. Jenis perangkat ortosis dengan pencetakan 3D memberikan kepraktisan dan efektivitas biaya, cocok untuk negara berkembang.

Leal-Naranjo, *et al*. (2018) merancang lengan prostetik dengan kemiripan milik manusia di mana biaya perancangan juga diklaim rendah⁽¹⁶⁾. Perangkat ini dibentuk oleh manipulator paralel tiga DOF di bahu, mekanisme enam batang dari satu DOF di siku, dan manipulator bola tiga DOF di pergelangan tangan, yang terhubung dalam arsitektur serial. Manipulator bola di bahu memungkinkan berbagi beban, dan oleh karena itu, torsi yang diperlukan dan konsumsi daya motor lebih rendah daripada solusi lain. Penggunaan motor kecil memiliki keuntungan bahwa bobotnya rendah dan memungkinkan untuk membuat desain dengan biaya yang lebih rendah dan lebih mudah untuk dibeli daripada solusi yang ada.

Perkembangan perancangan orthosis sekarang ini menghasilkan manufaktur aditif, plastik menjadi bahan yang paling banyak dicari. Manufaktur aditif memanfaatkan pencetakan 3D dan model CAD 3D untuk menghasilkan orthosis. Orthosis akan dicetak lapis demi lapis printer sesuai dengan model 3D yang dihasilkan dari perangkat lunak CAD/CAM. Hal ini dapat menekan biaya produksi orthosis karena tidak perlu menggunakan model gips sebagai acuan seperti pada metode konvensional. Kemungkinan mendesain ulang dan optimasi tanpa akhir juga membantu dalam menghasilkan orthosis yang lebih baik dan fungsional sekaligus mengurangi kemungkinan kegagalan desain.

Beberapa penelitian telah direview dan hasilnya sepakat bahwa pencetakan dengan metode 3D printing menghasilkan biaya rendah dibandingkan konvensional. Pertama, efektivitas bahan dapat dicapai karena bahan yang digunakan mudah didapat dan lebih murah. Kedua, efektivitas waktu dan proses bisnis sehingga alat dapat diproduksi dengan skala besar sekaligus dan dalam waktu yang relatif lebih singkat. Ketiga, biaya tenaga kerja dapat ditekan karena telah melibatkan kecanggihan mesin dan teknologi dalam perakitannya. Efektivitas bahan juga berdampak pada penggunaan energi. Semakin ringkas proses produksi maka semakin sedikit pula energi yang dihasilkan. Walaupun mungkin investasi di awal memerlukan biaya yang tinggi karena sertifikasi keunggulan produk, pembelian mesin, jasa desain, dan biaya semacamnya namun dalam jangka panjang pencetakan dengan metode 3D lebih rendah. Biaya unit tambahan akan lebih banyak ditemukan pada metode konvensional atau tradisional.

Kebutuhan Pekerja Teknologi pencetakan 3D Printing

Pencetakan alat bantu ortotik dan prostetik dengan metode 3D printing bukan hanya dapat menjadi investasi alat saja namun juga sumber daya manusia (SDM). Tantangan besar bagi perusahaan atau industri yang memproduksi alat dengan alih teknologi adalah SDM. Meskipun lebih sedikit SDM yang dibutuhkan karena efek penggunaan mesin dan teknologi, SDM harus dipastikan memiliki keterampilan dan retensinya dapat dipertahankan bahkan ditingkatkan. Salah satu cara dalam meningkatkan retensi karyawan adalah dengan meningkatkan kepuasan karyawan dengan tata kelola dan peran MSDM yang baik. SDM harus diberi akses secara

mandiri dalam mengelola pekerjaannya seperti waktu lemburan, tunjangan THR, tanggung jawab perpajakan, dan juga pengelolaan cuti.

Pada poin sebelumnya, disinggung bahwa biaya rendah yang dihasilkan dari produksi alat bantu ortotik dan prostetik dikarenakan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit. Komparasi dimensi antara foot orthoses (FO) yang dicetak dengan metode 3D dan yang dibuat secara tradisional dan persepsi kenyamanan, di mana pencetakan FO dengan metode 3D dapat mengelola nyeri pada tumit. Perbandingan keduanya juga dapat dilihat dari sisi waktu, kebutuhan tenaga kerja, dan kualitas produk⁽¹⁷⁾. Pembuatan tradisional FO yang dibuat khusus memakan waktu, padat karya, dan kualitas serta efektivitas produk akhir sebagian besar tergantung pada tingkat keterampilan teknisi manufaktur. Produksi tangan parsial dengan desain 3D cocok untuk negara berkembang yang mengalami kekurangan personel terlatih karena proses produksinya tidak terlalu padat karya⁽¹⁸⁾. Hal ini berarti memproduksi perangkat tangan dengan metode 3D tidak terlalu membutuhkan banyak pekerja sehingga efisiensi dapat dilakukan. Cruz *et al* (2020) dalam penelitian pengembangannya tentang prostesis telinga menjelaskan bahwa manufaktur lanjutan dengan metode 3D dapat secara signifikan mengurangi waktu kerja hingga 63% (termasuk 3 jam detailing) dan menghasilkan prostesis telinga berkualitas tinggi dibandingkan dengan pendekatan kerajinan tangan tradisional⁽¹⁹⁾. Santos *et al* (2017) dalam penelitiannya menjelaskan langkah-langkah yang terlibat dalam produksi orthosis memiliki rentang waktu gabungan kurang dari 2 hari, di mana akuisisi citra anatomi memakan waktu 10 menit, pemodelan parametrik 1-2 jam, dan pencetakan model 3D sekitar 12 jam. Ini adalah keunggulan dalam panorama produksi orthoses kustom, jika dibandingkan dengan waktu produksi yang diambil dengan metode manufaktur tradisional⁽²⁰⁾.

Keuntungan dibuktikan di mana biaya rata-rata, berat dan waktu produksi masing-masing diperlambat sebesar 95%, 55% dan 95% dengan menggunakan metode pencetakan 3D⁽²¹⁾. Kemajuan telah dibuat dalam mengotomatisasi bagian dari proses desain yang secara signifikan akan mengurangi kebutuhan tenaga kerja dan karenanya waktu tunda manufaktur⁽²²⁾.

Pencetakan tiga dimensi (3D) memiliki potensi untuk meningkatkan proses pembuatan FO. Pendekatan pembuatan FO ini semakin banyak diadopsi oleh fasilitas fabrikasi ortotik pusat komersial (COFFs). Pencetakan 3D orthoses memiliki banyak manfaat yang diakui, termasuk lebih sedikit waktu yang dihabiskan untuk tenaga kerja manual, potensi penghematan biaya dalam jangka panjang dan dapat menghasilkan perangkat dengan kesesuaian yang lebih baik. Berdasarkan penjelasan ini jelas bahwa teknologi pencetakan dengan 3D printing membutuhkan pekerja lebih sedikit. Pencetakan 3D, dimungkinkan untuk membuat struktur yang kompleks sekaligus menghemat waktu dan biaya tenaga kerja. Fleksibilitas yang memungkinkan kustomisasi untuk aplikasi khusus atau pertimbangan karakteristik individu memberikan peluang baru untuk kebebasan desain, menghindari kelebihan dan pemborosan material, dan efisiensi biaya dalam manufaktur yang unik. Selanjutnya, integrasi fungsi dalam pencetakan 3D dapat mengurangi kebutuhan akan prosedur perakitan. Dengan demikian, pencetakan 3D sebagai *disruptive technology* karena berpotensi menggantikan banyak proses manufaktur konvensional, terutama yang memakan waktu dan tenaga serta memerlukan karakteristik individu. Hal ini sekaligus membuktikan bahwa metode pencetakan 3D untuk pembuatan prostesis berharga di masa depan, yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode produksi konvensional atau tradisional.

Kecepatan dalam Proses Pelayanan Ortotik Prostetik Menggunakan Teknologi 3D Printing

Kecepatan dalam proses pelayanan ortotik prostetik menggunakan teknologi 3D printing dengan metode manual menjadi pertanyaan yang penting untuk dijawab. Hal ini berkaitan dengan keputusan akhir apakah pencetakan 3D printing pada alat bantu ortotik dan prostetik memang perlu dikembangkan. Sebagai contoh, apabila pencetakan 3D printing lebih murah namun tidak cepat/menunjukkan respon yang baik bagi pasien tentu metode manual lebih banyak dipertimbangkan.

SAA Hiader, et al (2021) meneliti tentang tangan palsu dilengkapi dengan sensor flex, yang menghasilkan sinyal analog sesuai dengan gerakan tangan. Sinyal bolak-balik kemudian ditransmisikan ke penerima melalui HC12RF. Penerima kemudian menghasilkan gerakan tangan prostetik 3D sesuai dengan sinyal yang diterima dengan bantuan motor servo. Kemampuan memetik dan gerakan tangan palsu 3D sangat baik. Secara keseluruhan, tangan 3D mendeteksi gerakan tangan manusia melalui sirkuit pemancar dan bekerja sesuai dengan gerakan tangan manusia. Adanya pengembangan teknologi baru seperti penggunaan Reverse Engineering dan Rapid Prototyping, orthosis tangan ini dapat dibuat dengan bentuk produk yang khas, nyaman digunakan, mudah, cepat, dan menghemat bahan dalam pengerjaan, serta hasil produk yang dihasilkan lebih presisi dan detail. Untuk pembuatan model orthosis tangan ini menggunakan alat Additive Manufacturing seperti mesin cetak 3 Dimensi (3D Print) serta alat Reverse Engineering berupa 3D Scanner⁽²³⁾.

Tangan prostetik yang dikembangkan oleh Esposito et al (2021) menggunakan force-sensitive resistor (FSR). FSR memantau variasi mekanis yang terjadi selama kontraksi otot. Sensor, diterapkan pada kulit melalui kubah kaku, merasakan kekuatan mekanik yang diberikan oleh otot-otot yang berkontraksi di bawahnya. Meskipun menyebabkan penyimpangan keluaran, pengkondisian FSR yang sesuai mengurangi penyimpangan dengan memperbaiki tegangan melintasi FSR dan memberikan keluaran tegangan yang sebanding dengan gaya. Selain sinyal kontraksi yang lebih besar, sensor mampu mendeteksi mechanomyogram (MMG), yaitu getaran kecil yang terjadi selama kontraksi otot. Respons frekuensi sensor FSR ternyata cukup besar untuk mengukur MMG dengan benar. Rekaman simultan dari fleksor carpi ulnaris menunjukkan korelasi yang tinggi (pearson's $r > 0.9$) antara output FSR dan amplop linier EMG. Tes validasi awal pada subjek sehat menunjukkan kemampuan sensor FSR, yang digunakan sebagai pengganti EMG, untuk mengontrol prostesis tangan secara proporsional, mencapai kinerja yang sebanding. Penelitian ini serupa dengan penelitian yang dihasilkan oleh Prakash Sharma (2021) yang mengungkapkan bahwa performa sensor EMG dibandingkan dengan sensor tradisional dalam mendeteksi kontraksi otot dari subjek. Sensor yang dirancang menunjukkan korelasi yang baik ($r > 0,93$) dan fitur rasio signal-to-noise (SNR) yang lebih baik dibandingkan sensor konvensional⁽²⁴⁾.

Ku *et al* ⁽²⁵⁾ melakukan sebuah penelitian mengenai hasil klinis dari prosthesis tangan tiga dimensi antarmuka mioelektrik saluran tunggal berbiaya rendah. Sepuluh pasien dilibatkan dalam penelitian ini. Setelah penggunaan prosthesis saluran elektromiografi tunggal mioelektrik yang dicetak 3D selama 3 bulan, rata-rata skor OPUS-UEFS meningkat secara signifikan dari 45,50 menjadi 60,10. OPUS-UEFS pada bulan ke-3 penggunaan prosthesis adalah 0,815. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tangan prosthesis antarmuka mioelektrik cetak 3D berbiaya rendah dengan satu sinyal mioelektrik yang andal yang dikembangkan pada penelitian ini menghadirkan potensi peningkatan kualitas hidup orang-orang yang mengalami amputasi dalam melakukan kegiatan di kesehariannya ⁽²⁶⁾. Temuan ini didukung oleh survey di mana hasilnya menunjukkan bahwa perangkat prosthesis 3D printing yang dikembangkannya memiliki potensi signifikan untuk berdampak positif terhadap kualitas hidup dan penggunaan sehari-hari dalam beberapa aktivitas di rumah atau sekolah ⁽⁵⁾. Selanjutnya, Zuniga *et al* (2017) menguji prototipe prosthesis bahu, lengan, dan tangan cetak tiga dimensi, koreksi parsial deviasi tulang belakang pasien dicatat karena penyeimbang perangkat, keluarga pasien juga melaporkan peningkatan keseimbangan dan kinerja setelah dua minggu menggunakan alat tersebut ⁽²⁷⁾.

Penelitian di domain lain dilakukan oleh Maricevich (2019) tentang rekonstruksi tengkorak dengan prosthesis polimetil metakrilat menggunakan templat pencetakan 3D. Uji perbandingan proporsi signifikan pada semua tanda/gejala yang dievaluasi, menunjukkan bahwa setelah 6 bulan semua tanda/gejala teratasi atau membaik pada sebagian besar kasus ⁽²⁸⁾. Sreenivasan (2021) pada penelitiannya tentang pengembangan prosthesis myoactivated mengungkapkan bahwa keuntungan utama dari alat yang dikembangkannya adalah bahwa prosthesis tidak memerlukan kontak dengan kulit untuk berfungsi dengan baik ⁽¹⁵⁾. Lee *et al* (2019) merancang alat bantu cedera otak melalui teknik pencetakan 3D yang kemudian diuji menggunakan The Jebsen-Taylor Hand Function Test (JHFT) dan Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST). Hasilnya mengungkapkan bahwa Skor JHFT meningkat setelah aplikasi perangkat cetak 3D. Di sebagian besar item QUEST, perangkat cetak 3D menunjukkan hasil yang lebih baik daripada perangkat bantu yang sudah jadi. Kecepatan mengetik menjadi lebih cepat di perangkat cetak 3D daripada di perangkat bantu yang sudah jadi. Pasien puas dengan orthosis dalam menulis pena, makan makanan dan mengetik keyboard karena kebugaran di tangannya dan mudah digunakan. Zolfagharian *et al* (2021) sesuai studinya tentang desain dan pemodelan sol sepatu kustom pencetakan 3D, hasilnya menunjukkan bahwa desain meningkatkan kenyamanan alas kaki individu dengan indeks berat badan dan persyaratan aktivitas dengan struktur kisi midsole sepatu cetak tiga dimensi (3D) yang disesuaikan ⁽²⁹⁾. Orthosis dengan pencetakan 3D lebih diterima dengan baik oleh pasien dan dipilih dari serangkaian konsep lain ⁽²⁰⁾. Studi perancangan orthosis dengan pencetakan 3D, ini berimplikasi pada produksi cepat orthosis yang dipersonalisasi yang dapat membantu mengurangi waktu tunggu pasien, meningkatkan kepatuhan pasien, mengurangi rasa sakit, dan mengurangi kerusakan lebih lanjut ⁽³⁰⁾. Nyeri pergelangan tangan berkurang pada kelompok yang memakai ortosis pergelangan tangan cetak tiga dimensi ^(31,32). Alur kerja bersama dengan pencetakan 3D, dapat membuat prosthesis kustom yang nyaman, fungsional, dibandingkan dengan perangkat prosthesis tradisional ⁽²¹⁾. Pasien lebih puas dengan AFO yang dicetak 3D daripada AFO konvensional dalam hal bobot dan kemudahan penggunaan ⁽³³⁾. Pasien mencapai fungsionalitas yang lebih tinggi dalam melakukan tugas sehari-hari seperti memasak dan mencuci ⁽³⁴⁾.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dijelaskan hasilnya tersebut, akhirnya, proses pelayanan ortotik prosthesis menggunakan teknologi 3D printing lebih cepat dalam melayani dibandingkan metode manual. Peneliti juga menemukan bahwa terdapat hambatan atau kekurangan yang ditemui dalam proses pencetakan dengan 3D *printing*. Hambatan dan kekurangan yang dimaksud yaitu membutuhkan tenaga desain 3D di mana SDM tenaga Ortosis prosthesis saat ini belum ahli dalam pengoperasian desain 3D.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *review* yang dilakukan, diketahui bahwa pengembangan model alat bantu prosthesis menggunakan teknologi 3D saat ini dapat dilaksanakan. Namun perlu standar operasional dan indikator tertentu. Teknologi pencetakan 3D Printing lebih murah dibandingkan dengan metode manual karena bahan yang dibutuhkan mudah didapat dan penggunaan energi yang lebih hemat. Teknologi pencetakan 3D Printing membutuhkan pekerja lebih sedikit karena telah memanfaatkan mesin dan teknologi yang tidak memakan banyak waktu seperti ketika menggunakan metode manual. Teknologi pencetakan 3D Printing lebih cepat dalam proses pelayanan ortotik prosthesis dibandingkan dengan metode manual yang ditunjukkan dengan adanya kenyamanan yang dirasakan dan pengurangan waktu tunggu pasien. Dengan demikian penggunaan teknologi pencetakan 3D dapat menjadi alternatif solusi agar masyarakat ekonomi kelas menengah ke bawah mendapatkan alat bantu prosthesis yang lebih murah namun juga berfungsi maksimal. Hambatan dalam penelitian dengan pencetakan 3D pun ditemukan diantaranya SDM yang belum paham tentang metode pencetakan 3D dan membutuhkan waktu dalam penyelenggaraan pelatihannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Carroll. Wor Report on Dissability. Ir Med J. 2012;105(5).
2. RI. Presiden Republik Indonesia. Jakarta: RI; 2004.
3. Rayna T, Striukova L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technol Forecast Soc Change. 2016;102:214–24.
4. Zuniga JM, Peck JL, Srivastava R, Pierce JE, Drew R, Than NA, et al. Disability and Rehabilitation : Assistive Technology Functional changes through the usage of 3D- printed transitional prostheses in children. Disabil Rehabil Assist Technol. 2017;0(0):1–7.
5. Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, Stollberg J, Petykowski M, Carson A. Cyborg beast : a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences Cyborg beast : a low-cost 3d-printed prosthetic hand

- for children with upper-limb differences. 2015;
6. Van der Stelt M, Grobusch MP, Koroma AR, Papenburg M, Kebbie I, Slump CH, et al. Pioneering low-cost 3D-printed transtibial prosthetics to serve a rural population in Sierra Leone – an observational cohort study. *EClinicalMedicine*. 2021;35:100874.
 7. Warder HH, Fairley JK, Coutts J, Glisson RR, Gall K. Examining the viability of carbon fiber reinforced three-dimensionally printed prosthetic feet created by composite filament fabrication. *Prosthet Orthot Int*. 2018;42(6):644–51.
 8. Esposito D, Savino S, Andreozzi E, Cosenza C, Niola V, Bifulco P. The “ Federica ” Hand. 2021;1–21.
 9. Vujaklija I, Farina D. 3D printed upper limb prosthetics. *Expert Rev Med Devices*. 2018;15(7):505–12.
 10. Cuellar JS, Plettenburg D, Zadpoor AA, Breedveld P, Smit G. Design of a 3D-printed hand prosthesis featuring articulated bio-inspired fingers. *Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med*. 2021;235(3):336–45.
 11. Tong Y, Kucukdeger E, Halper J, Cesewski E, Karakozoff E, Haring AP, et al. Low-cost sensor-integrated 3D-printed personalized prosthetic hands for children with amniotic band syndrome: A case study in sensing pressure distribution on an anatomical human-machine interface (AHMI) using 3D-printed conformal electrode arrays. *PLoS One*. 2019;14(3):1–23.
 12. Omar S, Kasem A, Ahmad A, Ya’akub SR, Ahman S, Yunus E. Implementation of low-cost 3D-printed prosthetic hand and tasks-based control analysis. *Adv Intell Syst Comput*. 2019;888(April 2021):213–23.
 13. Gretsche KF, Lather HD, Peddada K V., Deeken CR, Wall LB, Goldfarb CA. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. *Prosthet Orthot Int*. 2016;40(3):400–3.
 14. Baker C, Brent D, Wilson C, Xu J, Thompson LA. 2017;6.
 15. Barrios-Muriel J, Romero-Sánchez F, Alonso-Sánchez FJ, Salgado DR. Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: A technology review. *Materials* (Basel). 2020;13(2).
 16. Leal-Naranjo JA, Miguel CRTS, Ceccarelli M, Rostro-Gonzalez H. Mechanical design and assessment of a low-cost 7-DOF prosthetic arm for shoulder disarticulation. *Appl Bionics Biomech*. 2018;2018.
 17. Ho M, Nguyen J, Talbot K, Heales L, Stanton R, Kean C, et al. Immediate comfort perception of 3D-printed foot orthoses in individuals with unilateral heel pain. :31–6.
 18. Alturkistani R, Kavin A, Devasahayam S, Thomas R, Colombini EL, Cifuentes CA, et al. Affordable passive 3D-printed prosthesis for persons with partial hand amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2020;44(2):92–8.
 19. Cruz RLJ, Ross MT, Skewes J, Allenby MC, Powell SK, Woodruff MA. An advanced prosthetic manufacturing framework for economic personalised ear prostheses. *Sci Rep [Internet]*. 2020;10(1):1–12. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67945-z>
 20. Santos S, Soares B, Leite M, Jacinto J. Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers. *Virtual Phys Prototyp*. 2017;0(0):1–11.
 21. De Vivo Nicoloso LG, Pelz J, Barrack H, Kuester F. Towards 3D printing of a monocoque transtibial prosthesis using a bio-inspired design workflow. *Rapid Prototyp J*. 2021;27(11):67–80.
 22. Walbran M, Turner K, McDaid AJ. Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint. *Cogent Eng*. 2016;3(1).
 23. Mesin JT, Industri FT, Indonesia UI. Pembuatan Orthosis Tangan Menggunakan Metode Reverse Engineering Dan Rapid Prototyping. 2020;
 24. Prakash A, Sharma S. A low-cost transradial prosthesis controlled by the intention of muscular contraction. *Phys Eng Sci Med*. 2021;44(1):229–41.
 25. Ku I, Lee GK, Park CY, Lee J, Jeong E. Clinical outcomes of a low-cost single-channel prosthesis. 2019;
 26. Yoo HJ, Lee S, Kim J, Park C, Lee B. Development of 3D-printed myoelectric hand orthosis for patients with spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(1):1–14.
 27. Zuniga JM, Carson AM, Peck JM, Kalina T, Srivastava RM, Peck K. The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children. *Prosthet Orthot Int*. 2017;41(2):205–9.
 28. Maricevich JPBR, Cezar-Junior AB, De Oliveira-Junior EX, E Silva JAMV, Da Silva JVL, Nunes AA, et al. Functional and aesthetic evaluation after cranial reconstruction with polymethyl methacrylate prostheses using low-cost 3D printing templates in patients with cranial defects secondary to decompressive craniectomies: A prospective study. *Surg Neurol Int*. 2019;10(1).
 29. Zolfagharian A, Lakhi M, Ranjbar S, Bodaghi M. Custom Shoe Sole Design and Modeling Toward 3D Printing. *Int J Bioprinting*. 2021;7(4):1–10.
 30. Hale L, Linley E, Kalaskar DM. A digital workflow for design and fabrication of bespoke orthoses using 3D scanning and 3D printing, a patient-based case study. *Sci Rep*. 2020;10(1):1–7.
 31. Kim SJ, Kim SJ, Cha YH, Lee KH, Kwon JY. Effect of personalized wrist orthosis for wrist pain with three-dimensional scanning and printing technique: A preliminary, randomized, controlled, open-label study. *Prosthet Orthot Int*. 2018;42(6):636–43.
 32. Zheng Y, Liu G, Yu L, Wang Y, Fang Y, Shen Y, et al. Effects of a 3D-printed orthosis compared to a low-temperature thermoplastic plate orthosis on wrist flexor spasticity in chronic hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2020;34(2):194–204.
 33. Cha YH, Lee KH, Ryu HJ, Joo IW, Seo A, Kim DH, et al. Ankle-foot orthosis made by 3D printing technique and automated design software. *Appl Bionics Biomech*. 2017;2017.
 34. Swartz AQ, Turner K, Miller L, Kuiken T. Custom, rapid prototype thumb prosthesis for partial-hand amputation: A case report. *Prosthet Orthot Int*. 2018;42(2):187–90.