

Literature Review: Pencetakan Tiga Dimensi (Three-Dimensional Printing) untuk Pembuatan Prostesis: Tinjauan Literatur tentang Manfaat Klinis, Tantangan Implementasi, dan Perspektif Etika Islam

Rafly Ilmansyah^{1*}, Dara Ugi Aras², Sitti Musafirah³, Andi Alamsyah Irwan⁴, Muhammad Ihsan Kitta⁵, Ihsan Jaya⁶

¹⁻⁶Mahasiswa Program Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : raflyilmy@med.unismuh.ac.id

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 09 September, 2026

Page: 5152-5162

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i9.3783>

Article History:

Received: Juli 24, 2026

Revised: Agustus 01, 2026

Accepted: September 19, 2026

Abstract : Limb loss resulting from trauma, vascular disease, diabetes mellitus, and congenital disorders remains one of the major causes of global disability. Conventional prostheses still face several limitations, including high costs, lengthy production times, and limited personalisation. Three-Dimensional Printing (3DP) technology offers an innovative approach for prosthesis fabrication that is faster, more cost-effective, and tailored to individual needs. This study aims to analyse the clinical benefits, implementation challenges, and Islamic ethical perspectives regarding the use of 3DP technology in prosthesis fabrication. A literature review method was conducted through searches of articles from PubMed, Scopus, ScienceDirect, and SpringerLink published between 2020 and 2026. Six articles meeting the inclusion criteria were analysed narratively. The findings indicate that 3DP improves personalisation, reduces production costs, accelerates fabrication processes, and enhances user comfort. Major challenges include material limitations, regulatory issues, initial investment requirements, and insufficient long-term clinical evidence. From an Islamic perspective, this technology aligns with *maqāṣid al-sharī'ah* principles, particularly the preservation of life (*ḥifẓ al-nafs*) and the removal of harm (*al-ḍarar yuzāl*). 3DP technology has the potential to become a future prosthetic solution with continued regulatory development and further clinical research.

Keywords : Additive Manufacturing, Islamic Ethics, Literature Review, Prosthesis, Three-Dimensional Printing.

Abstrak : Kehilangan anggota tubuh akibat trauma, penyakit vaskular, diabetes melitus, dan kelainan kongenital menjadi salah satu penyebab utama disabilitas global. Prostesis konvensional masih memiliki keterbatasan berupa biaya tinggi, waktu produksi lama, dan rendahnya tingkat personalisasi. Teknologi *Three-Dimensional Printing* (3DP) menawarkan pendekatan inovatif dalam pembuatan prostesis yang lebih cepat, ekonomis, dan sesuai kebutuhan individu. Penelitian ini bertujuan menganalisis manfaat klinis, tantangan implementasi, serta perspektif etika Islam terhadap penggunaan teknologi 3DP dalam pembuatan prostesis. Metode yang digunakan adalah *literature review* melalui penelusuran artikel pada PubMed, Scopus,

ScienceDirect, dan SpringerLink periode 2020–2026. Sebanyak enam artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara naratif. Hasil kajian menunjukkan bahwa 3DP mampu meningkatkan personalisasi, mengurangi biaya produksi, mempercepat fabrikasi, dan meningkatkan kenyamanan pengguna. Tantangan utama meliputi keterbatasan material, regulasi, investasi awal, dan kurangnya bukti klinis jangka panjang. Dalam perspektif Islam, teknologi ini sesuai dengan prinsip *maqāṣid al-syaīʿah*, khususnya *ḥifẓ al-nafs* dan penghilangan kemudharatan. Teknologi 3DP berpotensi menjadi solusi prostetik masa depan dengan dukungan regulasi dan penelitian lanjutan.

Kata Kunci : Additive Manufacturing, Etika Islam, Literature Review, Prostesis, Three-Dimensional Printing.

PENDAHULUAN

Kehilangan anggota tubuh (*limb loss*) merupakan salah satu kondisi disabilitas yang memberikan dampak signifikan terhadap kemampuan fungsional individu, terutama dalam aspek mobilitas, aktivitas sehari-hari, kemandirian, dan kualitas hidup. Secara global, peningkatan prevalensi penyakit kronis seperti diabetes melitus, penyakit vaskular perifer, serta meningkatnya kasus trauma akibat kecelakaan menjadi faktor utama yang berkontribusi terhadap meningkatnya kebutuhan penggunaan prostesis. Kondisi ini menyebabkan kebutuhan terhadap teknologi prostetik yang mampu memberikan fungsi optimal, kenyamanan, serta akses yang lebih luas bagi individu dengan kehilangan anggota tubuh terus mengalami peningkatan (Atallah et al., 2025; Segura et al., 2024). Prostesis merupakan perangkat medis yang dirancang untuk menggantikan fungsi anggota tubuh yang hilang melalui kombinasi pendekatan biomekanik, material teknik, dan rehabilitasi klinis. Dalam praktik konvensional, pembuatan prostesis umumnya menggunakan metode fabrikasi manual yang membutuhkan proses pengukuran individual, pembuatan cetakan, pengerjaan material secara bertahap, serta proses penyesuaian berulang antara perangkat dan kondisi anatomi pasien. Meskipun metode tersebut telah berkembang selama beberapa dekade, pendekatan konvensional masih menghadapi berbagai kendala, seperti biaya produksi yang tinggi, waktu pembuatan yang panjang, keterbatasan ketersediaan tenaga ahli, serta akses pelayanan prostetik yang belum merata, terutama di negara berkembang (Pereira et al., 2024; Chainando et al., 2025).

Perkembangan teknologi *Three-Dimensional Printing* (3DP) atau *additive manufacturing* memberikan alternatif baru dalam bidang rekayasa biomedis, termasuk dalam pengembangan prostesis. Teknologi ini bekerja melalui proses pencetakan lapisan material berdasarkan desain digital tiga dimensi yang diperoleh melalui pemodelan komputer, pemindaian tiga dimensi (*3D scanning*), maupun rekonstruksi berbasis data anatomi pasien. Pendekatan tersebut memungkinkan proses manufaktur yang lebih fleksibel dengan menghasilkan perangkat yang bersifat *patient-specific*, memiliki tingkat personalisasi tinggi, bobot lebih ringan, waktu produksi lebih cepat, serta biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan metode konvensional (Chainando et al., 2025; Germann et al., 2023). Dalam perspektif klinis, berbagai penelitian menunjukkan bahwa prostesis berbasis teknologi 3DP memiliki potensi dalam meningkatkan kesesuaian anatomis (*anatomical fitting*), kenyamanan penggunaan, kepuasan pasien, serta efektivitas proses rehabilitasi. Teknologi ini juga memberikan peluang besar dalam penyediaan prostesis dengan desain yang lebih adaptif terhadap kebutuhan individu, termasuk pada kasus amputasi ekstremitas atas maupun bawah. Selain itu, kemampuan teknologi 3DP dalam mempercepat proses desain dan produksi menjadikannya pendekatan yang menjanjikan untuk meningkatkan akses pelayanan rehabilitasi bagi populasi dengan keterbatasan sumber daya (Atallah et al., 2025; Pereira et al., 2024; Segura et al., 2024).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, penerapan teknologi 3DP dalam produksi prostesis masih menghadapi sejumlah tantangan yang membutuhkan kajian lebih lanjut. Permasalahan utama meliputi keterbatasan karakteristik mekanik material hasil pencetakan,

variasi kualitas produk antarperangkat, kebutuhan validasi keamanan dan efektivitas melalui penelitian klinis jangka panjang, serta belum optimalnya regulasi terkait penggunaan perangkat medis berbasis manufaktur digital. Selain aspek teknis, hambatan implementasi juga berkaitan dengan kebutuhan investasi awal, kesiapan infrastruktur teknologi, serta keterampilan tenaga kesehatan dalam mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam sistem pelayanan rehabilitasi (Chainando *et al.*, 2025; Atallah *et al.*, 2025). Selain aspek teknologi dan klinis, perkembangan bioteknologi modern juga menimbulkan kebutuhan untuk memahami dimensi etika, termasuk dalam perspektif agama. Dalam konteks Islam, penggunaan teknologi medis untuk menggantikan fungsi tubuh yang hilang dapat dikaji melalui prinsip kemaslahatan (*maslahah*), perlindungan terhadap martabat manusia (*hifz al-nafs*), serta pertimbangan hukum terhadap perubahan atau rekonstruksi bagian tubuh. Kajian mengenai teknologi pencetakan tiga dimensi dalam perspektif hukum Islam menunjukkan bahwa inovasi medis perlu dianalisis tidak hanya berdasarkan manfaat klinis, tetapi juga berdasarkan prinsip etika dan batasan normatif yang berlaku (Sabri *et al.*, 2023).

Kajian terkini menunjukkan bahwa penelitian mengenai protesis berbasis *Three-Dimensional Printing* sebagian besar masih berfokus pada aspek desain teknologi, karakteristik material, analisis biomekanik, serta evaluasi luaran klinis pengguna. Studi Atallah *et al.* (2025) meninjau perkembangan klinis protesis cetak tiga dimensi, sedangkan Chainando *et al.* (2025) menganalisis perkembangan teknologi pemindaian dan pencetakan 3DP pada protesis ekstremitas atas melalui pendekatan bibliometrik dan *scoping review*. Sementara itu, Germann *et al.* (2023), Pereira *et al.* (2024), dan Segura *et al.* (2024) lebih banyak membahas aplikasi klinis serta efektivitas penggunaan perangkat berbasis 3DP dalam bidang rehabilitasi dan bedah ekstremitas. Namun demikian, masih terdapat *research gap* berupa keterbatasan kajian yang mengintegrasikan tiga aspek utama secara komprehensif, yaitu manfaat klinis protesis berbasis 3DP, tantangan implementasi teknologi dalam pelayanan kesehatan, serta analisis etika Islam terhadap penerapan inovasi tersebut. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih berdiri secara terpisah antara kajian teknologi medis dan kajian etika, sehingga diperlukan pendekatan multidisipliner untuk memahami kesiapan penerapan teknologi 3DP sebagai solusi prostetik yang tidak hanya efektif secara klinis, tetapi juga sesuai dengan nilai etika dan sosial masyarakat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan *novelty* melalui pendekatan tinjauan literatur yang mengintegrasikan perspektif klinis, teknologi, implementasi pelayanan kesehatan, dan etika Islam dalam analisis penggunaan *Three-Dimensional Printing* untuk pembuatan protesis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan teknologi 3DP dalam pembuatan protesis, mengidentifikasi manfaat klinis yang telah dilaporkan, mengevaluasi berbagai tantangan implementasi, serta mengkaji relevansinya berdasarkan perspektif etika Islam berdasarkan publikasi ilmiah periode 2020–2026. Kajian ini memiliki urgensi yang tinggi seiring meningkatnya kebutuhan terhadap teknologi rehabilitasi yang lebih terjangkau, personal, dan mudah diakses. Pemahaman yang komprehensif mengenai peluang dan keterbatasan protesis berbasis 3DP dapat menjadi dasar bagi pengembangan strategi pelayanan kesehatan yang lebih inklusif, penguatan penelitian teknologi medis, serta penyusunan pendekatan etis dalam pemanfaatan inovasi biomedis di masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *literature review*, yaitu metode penelitian yang dilakukan melalui proses penelusuran, identifikasi, evaluasi, dan sintesis terhadap berbagai artikel ilmiah yang membahas penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* (3DP) dalam pembuatan protesis. Metode ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai manfaat klinis, tantangan implementasi, serta perspektif etika Islam berdasarkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya (Snyder, 2019). Penelusuran literatur dilakukan melalui empat basis data elektronik, yaitu PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan SpringerLink. Strategi pencarian artikel menggunakan kombinasi kata kunci: "*Three-Dimensional Printing*" OR "*3D Printing*" AND "*Prosthesis*" OR "*Prosthetic Fabrication*" AND "*Clinical Outcomes*" OR "*Rehabilitation*". Artikel yang dianalisis merupakan publikasi ilmiah yang diterbitkan pada periode Januari 2020 hingga Juni 2026. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel

penelitian asli (*original research*), *systematic review*, atau *scoping review*; (2) dipublikasikan dalam periode 2020–2026; (3) menggunakan bahasa Inggris; (4) tersedia dalam bentuk teks lengkap (*full text*); serta (5) membahas manfaat klinis, tantangan implementasi, atau aplikasi teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pembuatan prosthesis. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak tersedia dalam bentuk *full text*, artikel duplikasi, prosiding konferensi, editorial, serta artikel yang tidak secara spesifik membahas penggunaan teknologi 3D printing pada prosthesis.

Proses seleksi artikel dilakukan secara bertahap melalui identifikasi judul, abstrak, dan evaluasi teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Tahapan seleksi literatur mengacu pada prinsip pelaporan tinjauan sistematis yang transparan sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021). Artikel yang memenuhi kriteria kemudian diekstraksi berdasarkan beberapa karakteristik, meliputi nama penulis, tahun publikasi, negara penelitian, desain penelitian, tujuan penelitian, serta temuan utama. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan disintesis menggunakan pendekatan naratif untuk mengidentifikasi pola temuan penelitian terkait manfaat klinis, tantangan implementasi, serta implikasi penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pembuatan prosthesis (Atallah et al., 2025; Chainando et al., 2025; Germann et al., 2023; Pereira et al., 2024; Segura et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelusuran literatur dilakukan melalui empat basis data elektronik, yaitu PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan SpringerLink menggunakan kata kunci yang telah ditentukan. Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan judul, abstrak, dan isi lengkap sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Setelah proses seleksi, diperoleh lima artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan dalam *literature review* ini. Seluruh artikel dipublikasikan pada periode 2020–2026 serta membahas penerapan teknologi *Three-Dimensional Printing* (3DP) dalam pembuatan prosthesis, manfaat klinis, tantangan implementasi, maupun perkembangan teknologi prostetik.

Tabel 1. Penelusuran Literatur

Nama Pengarang	Tahun	Negara	Tujuan Penelitian	Partisipan	Desain dan Metode Pengambilan Data	Temuan	Implikasi
Atallah H, et al.	2025	Multinasi onal	Mengevaluasi luaran klinis penggunaan prosthesis berbasis Three-Dimensional Printing pada ekstremitas atas dan bawah.	11 penelitian dengan total 177 peserta dari beberapa negara.	Systematic review mengikuti pedoman PRISMA dengan pencarian pada PubMed, Web of Science, Scopus, Cochrane, EBSCO, dan Sage. (PubMed)	Prosthesis 3D printing meningkatkan fungsi, kenyamanan, kepuasan pasien, dan efisiensi biaya, tetapi bukti jangka panjang masih terbatas.	Mendukung penggunaan prosthesis 3D printing sebagai alternatif rehabilitasi, namun diperlukan uji klinis yang lebih besar.

Chaina ndo P, et al.	202 5	Thailand	Menganali sis pengguna an 3D scanning dan 3D printing pada pembuata n prothesi ekstremita s atas.	Artikel ilmiah mengenai protesis ekstremitas atas yang memenuhi kriteria scoping review.	Scoping review dan analisis bibliometrik terhadap publikasi tentang 3D scanning dan 3D printing.	Teknologi digital meningkat kan akurasi desain, memperce pat fabrikasi, dan memungki nkan protesis yang bersifat <i>patient- specific</i> .	Berpotensi meningkat kan akses pelayanan prostetik, terutama di negara berkembangan.
Segura D, Romero E, Abarca VE, Elias DA	202 4	Peru	Meninjau perkembangan protesis ekstremitas atas berdasarkan tingkat amputasi dan perkembangan teknologi terkini.	49 publikasi (33 paten dan 16 protesis komersial) yang diseleksi dari berbagai basis data.	Systematic review menggunakan IEEE Xplore, Scopus, Frontiers, MDPI, dan Espacenet. (MDPI)	Ditemukan perkembangan pesat desain protesis, kontrol myoelektrik, dan integrasi teknologi 3D printing untuk meningkatkan fungsi ekstremitas atas.	Menjadi dasar pengembangan protesis yang lebih ergonomis dan sesuai dengan tingkat amputasi pasien.
Juarez de Souza Pereira, et al.	202 4	Brasil	Mengetahui penggunaan ortosis dan protesis hasil 3D printing pada pusat rehabilitasi bagi penyandang disabilitas	Artikel yang membahas penggunaan ortosis dan protesis berbasis 3D printing pada layanan rehabilitasi.	Scoping review terhadap publikasi yang memenuhi kriteria inklusi. (Springer Link)	3D printing meningkatkan akses terhadap ortosis dan protesis dengan biaya lebih rendah serta proses pembuatan lebih cepat, meskipun	Mendukung pemanfaatan teknologi 3D printing pada pelayanan rehabilitasi serta perlunya standarisasi

			fisik.			implementasi masih dipengaruhi oleh keterbatasan sumber daya dan regulasi.	implementasi.
German n G, et al.	2023	Austria	Mengevaluasi aplikasi klinis teknologi Three-Dimensional Printing pada bedah dan rekonstruksi ekstremitas atas, termasuk penggunaan prosthesis.	51 publikasi klinis yang melibatkan 355 pasien.	Systematic review sesuai pedoman PRISMA terhadap studi klinis penggunaan 3D printing pada ekstremitas atas. (MDPI)	Teknologi 3D printing bermanfaat untuk perencanaan operasi, implant, prosthesis, dan meningkatkan akurasi tindakan bedah. Bukti klinis terus berkembang namun masih memerlukan penelitian berkualitas tinggi.	Mendukung penggunaan teknologi 3D printing dalam praktik klinis serta mendorong penelitian lanjutan mengenai efektivitas dan keamanan jangka panjang.
Sabri AM et al.	2023	Singapura	Menganalisis hukum Islam terhadap teknologi 3D organ printing	Tidak menggunakan partisipasi manusia (kajian normatif/literatur).	Original paper (Islamic jurisprudence analysis)	Teknologi 3D printing diperbolehkan apabila bertujuan menyelamatkan jiwa (daruriyyah) dan pengobatan, tetapi tidak diperbolehkan untuk	Memberikan landasan maqasid syariah terhadap penggunaan teknologi 3D printing dalam bidang medis.

tujuan
kosmetik
(tahsiniyya
h).

Pembahasan

Manfaat Klinis *Three-Dimensional Printing* dalam Pembuatan Protesis

Berdasarkan hasil telaah terhadap lima artikel yang direview, teknologi Three-Dimensional Printing (3DP) memberikan berbagai manfaat dalam pembuatan protesis, baik dari aspek klinis maupun ekonomi. Seluruh penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ini mampu menghasilkan protesis yang lebih sesuai dengan anatomi pasien (patient-specific), sehingga meningkatkan kenyamanan, fungsi, dan kepuasan pengguna dibandingkan metode manufaktur konvensional. Pendekatan berbasis desain digital memungkinkan proses rekonstruksi bentuk protesis dilakukan secara presisi berdasarkan karakteristik individu, sehingga dapat mengurangi masalah ketidaksesuaian (socket fitting) yang sering ditemukan pada protesis konvensional. Atallah et al. (2025) melaporkan bahwa protesis berbasis 3D printing mampu meningkatkan luaran klinis melalui desain yang dipersonalisasi, biaya produksi lebih rendah, serta waktu fabrikasi yang lebih singkat. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Kate et al. (2017) yang menunjukkan bahwa protesis berbasis manufaktur aditif memiliki potensi meningkatkan aksesibilitas dan personalisasi perangkat rehabilitasi melalui pendekatan desain berbasis pengguna.

Temuan tersebut didukung oleh Chainando et al. (2025) yang menyatakan bahwa integrasi teknologi 3D scanning dengan 3D printing menghasilkan model protesis yang lebih akurat karena mengikuti bentuk anatomi pasien secara individual. Kombinasi kedua teknologi tersebut memungkinkan proses digitalisasi bentuk tubuh, modifikasi desain secara cepat, serta produksi perangkat yang lebih adaptif terhadap kebutuhan pasien. Menurut Chen et al. (2020), pemanfaatan teknologi pemindaian tiga dimensi dalam bidang medis telah meningkatkan akurasi rekonstruksi anatomi dan mempercepat proses pembuatan perangkat rehabilitasi dibandingkan metode manual.

Penelitian Segura et al. (2024) menunjukkan bahwa perkembangan teknologi 3D printing telah memperluas variasi protesis ekstremitas atas berdasarkan tingkat amputasi. Penggunaan desain digital memungkinkan protesis dibuat lebih ringan, ergonomis, dan mudah dimodifikasi sesuai kebutuhan pasien, sehingga meningkatkan efektivitas rehabilitasi. Hal ini sejalan dengan penelitian Diment et al. (2018) yang menjelaskan bahwa teknologi manufaktur aditif memungkinkan pengembangan perangkat medis dengan struktur kompleks yang sulit dicapai melalui metode manufaktur konvensional. Kemampuan menghasilkan geometri kompleks juga memungkinkan optimasi berat perangkat tanpa mengurangi fungsi mekaniknya.

Selain memberikan manfaat klinis, teknologi ini juga memberikan keuntungan ekonomi melalui efisiensi proses produksi. Pereira et al. (2024) menjelaskan bahwa biaya produksi protesis hasil 3D printing lebih rendah dibandingkan metode konvensional karena proses fabrikasi lebih sederhana, penggunaan material lebih efisien, serta limbah produksi lebih sedikit. Kondisi tersebut menjadi peluang penting dalam meningkatkan akses pelayanan rehabilitasi, terutama di negara berkembang yang masih menghadapi keterbatasan fasilitas prostetik. Kajian Ngo et al. (2018) menunjukkan bahwa teknologi additive manufacturing memiliki keunggulan dalam mengurangi waktu produksi, meminimalkan penggunaan bahan baku, dan memungkinkan produksi lokal tanpa ketergantungan penuh terhadap sistem manufaktur terpusat.

Germann et al. (2023) juga melaporkan bahwa teknologi Three-Dimensional Printing tidak hanya bermanfaat dalam pembuatan protesis, tetapi juga digunakan dalam perencanaan operasi, pembuatan panduan bedah (surgical guide), serta rekonstruksi ekstremitas sehingga meningkatkan akurasi tindakan medis dan luaran pasien. Penggunaan model tiga dimensi sebelum tindakan klinis memungkinkan tenaga medis memperoleh gambaran anatomi yang lebih jelas, meningkatkan perencanaan prosedur, dan mengurangi risiko kesalahan selama tindakan. Menurut Tack et al. (2016), teknologi pencetakan tiga dimensi telah berkembang sebagai alat

penting dalam kedokteran personal karena mampu menghubungkan data pencitraan medis dengan kebutuhan klinis pasien.

Meskipun memiliki berbagai manfaat, implementasi teknologi 3DP dalam pembuatan prosthesis masih menghadapi sejumlah tantangan. Keterbatasan utama meliputi variasi kualitas material, kekuatan mekanik yang belum selalu setara dengan material konvensional, kebutuhan validasi klinis jangka panjang, serta belum seragamnya standar regulasi perangkat medis berbasis pencetakan tiga dimensi. Menurut Javaid dan Haleem (2018), keberhasilan implementasi manufaktur aditif dalam bidang kesehatan tidak hanya bergantung pada kemampuan teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh regulasi, keamanan material, validasi klinis, dan kesiapan sumber daya manusia.

Dalam perspektif etika Islam, penggunaan teknologi Three-Dimensional Printing dalam pembuatan prosthesis perlu dianalisis berdasarkan tujuan dan manfaat penggunaannya. Sabri *et al.* (2023) menjelaskan bahwa teknologi pencetakan tiga dimensi dapat diterima apabila digunakan untuk tujuan pengobatan, mengembalikan fungsi tubuh, menghilangkan penderitaan, dan memberikan kemaslahatan bagi manusia. Prinsip tersebut selaras dengan konsep *maqāṣid al-syarī'ah*, khususnya perlindungan terhadap jiwa (*ḥifz al-nafs*) dan prinsip menghilangkan kemudharatan (*al-darar yuzāl*). Dengan demikian, penggunaan 3DP sebagai teknologi rehabilitasi bagi individu dengan kehilangan anggota tubuh dapat dipandang sebagai bentuk pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia selama tidak bertentangan dengan prinsip etika Islam.

Tantangan Implementasi *Three-Dimensional Printing*

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, implementasi teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pelayanan kesehatan masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu kendala utama adalah belum adanya standar internasional mengenai kualitas material, metode produksi, serta evaluasi keamanan prosthesis hasil pencetakan tiga dimensi. Atallah *et al.* (2025) menyatakan bahwa sebagian besar penelitian masih menggunakan jumlah sampel yang kecil sehingga bukti mengenai efektivitas dan keamanan jangka panjang masih terbatas. Kondisi ini menyebabkan perlunya penelitian prospektif dengan jumlah responden yang lebih besar dan masa tindak lanjut yang lebih panjang.

Selain itu, material yang digunakan pada proses pencetakan juga masih memiliki keterbatasan. Segura *et al.* (2024) menjelaskan bahwa meskipun teknologi berkembang pesat, kekuatan mekanik beberapa material termoplastik masih perlu ditingkatkan agar mampu digunakan untuk aktivitas dengan beban tinggi secara berkelanjutan. Tantangan lain adalah keterbatasan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dalam bidang rekayasa biomedis dan desain digital. Pereira *et al.* (2024) menegaskan bahwa keberhasilan implementasi teknologi ini tidak hanya bergantung pada ketersediaan printer tiga dimensi, tetapi juga kemampuan tenaga kesehatan dalam melakukan desain, pencetakan, evaluasi, serta pemeliharaan prosthesis. ⁽⁴⁾

Perkembangan Teknologi *Three-Dimensional Printing* di Masa Depan

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence (AI)*, *Computer-Aided Design (CAD)*, dan biomaterial diperkirakan akan semakin meningkatkan kualitas prosthesis berbasis *Three-Dimensional Printing*. Integrasi AI memungkinkan proses desain dilakukan secara otomatis berdasarkan hasil pemindaian anatomi pasien sehingga meningkatkan presisi serta mengurangi waktu produksi. Selain itu, perkembangan teknologi sensor, aktuator, dan sistem kontrol myoelektrik membuka peluang pengembangan prosthesis pintar (*smart prosthesis*) yang mampu merespons gerakan otot pengguna secara real-time. Segura *et al.* (2024) menyebutkan bahwa kombinasi teknologi tersebut akan menjadi arah utama pengembangan prosthesis pada masa mendatang.

Perspektif Etika Islam terhadap *Three-Dimensional Printing* dalam Pembuatan Prosthesis

Dalam perspektif Islam, ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan sarana untuk mewujudkan kemaslahatan umat selama digunakan sesuai dengan prinsip syariat. Penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pembuatan prosthesis bertujuan mengembalikan fungsi anggota tubuh yang hilang sehingga membantu pasien menjalankan aktivitas sehari-hari secara mandiri. Tujuan tersebut sejalan dengan konsep *maqāṣid al-syarī'ah*, khususnya *ḥifz al-*

nafs (menjaga jiwa) dan *hifz al-'aql* serta menjaga kemampuan manusia untuk menjalankan kehidupannya secara optimal. Allah SWT berfirman:

"...dan janganlah kamu menjatuhkan dirimu sendiri ke dalam kebinasaan..."
(QS. Al-Baqarah: 195)

Ayat tersebut menunjukkan bahwa setiap upaya yang bertujuan menjaga keselamatan dan meningkatkan kualitas hidup manusia merupakan bagian dari tujuan syariat. Prostesis bukanlah bentuk mengubah ciptaan Allah untuk tujuan kesombongan atau kosmetik semata, melainkan sebagai bagian dari pengobatan (*al-'ilā*) dan rehabilitasi medis. Selain itu, Rasulullah ﷺ bersabda:

"Wahai hamba-hamba Allah, berobatlah kalian, karena Allah tidak menurunkan penyakit kecuali Dia juga menurunkan obatnya."
(HR. Abu Dawud dan At-Tirmidzi)

Hadis tersebut menjadi dasar bahwa pemanfaatan teknologi medis, termasuk *Three-Dimensional Printing*, diperbolehkan bahkan dianjurkan apabila memberikan manfaat bagi pasien. Dalam kaidah fikih juga dikenal prinsip:

يُزَالُ الضَّرَرُ
"Kemudaratan harus dihilangkan."

Penggunaan prostesis membantu mengurangi keterbatasan fisik akibat amputasi sehingga memenuhi kaidah tersebut. Selain itu, teknologi *Three-Dimensional Printing* yang mampu menghasilkan prostesis dengan biaya lebih rendah juga mendukung prinsip keadilan (*al-'adl*) dalam pelayanan kesehatan karena meningkatkan akses masyarakat terhadap alat bantu medis. Namun demikian, penerapan teknologi ini tetap harus memperhatikan aspek keamanan pasien, kejujuran ilmiah, standar mutu produk, dan tanggung jawab profesional, sehingga manfaat yang diperoleh tidak menimbulkan kemudaratan baru.

Implikasi Penelitian

Hasil *literature review* ini menunjukkan bahwa teknologi *Three-Dimensional Printing* memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pelayanan rehabilitasi medik. Temuan penelitian dapat menjadi dasar bagi tenaga kesehatan dalam memilih metode fabrikasi prostesis yang lebih efektif, efisien, dan berorientasi pada kebutuhan pasien. Bagi institusi pendidikan, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan kurikulum mengenai teknologi manufaktur digital pada bidang kesehatan. Bagi peneliti, kajian ini membuka peluang penelitian lanjutan mengenai efektivitas klinis, kualitas hidup pengguna prostesis, pengembangan biomaterial, serta evaluasi biaya (*cost-effectiveness*). Sementara itu, bagi pemerintah dan pembuat kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam penyusunan regulasi dan standar nasional mengenai penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* sebagai perangkat medis.

Sintesis Hasil

Berdasarkan enam artikel yang direview, seluruh penelitian menunjukkan bahwa teknologi *Three-Dimensional Printing* memberikan manfaat yang konsisten dalam pembuatan prostesis, yaitu meningkatkan personalisasi desain, mempercepat proses produksi, menurunkan biaya, serta meningkatkan kenyamanan dan fungsi pengguna (1-6). Perbedaan antarpenelitian terutama terletak pada fokus kajian, mulai dari evaluasi luaran klinis, pemanfaatan *3D scanning*, perkembangan prostesis ekstremitas atas, implementasi pada pusat rehabilitasi, hingga aplikasi pada bidang bedah rekonstruksi. Meskipun demikian, seluruh penelitian juga sepakat bahwa masih diperlukan penelitian klinis dengan desain yang lebih kuat, jumlah sampel yang lebih besar, serta standarisasi material dan regulasi agar penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* dapat diterapkan secara luas dalam pelayanan kesehatan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Teknologi *Three-Dimensional Printing* merupakan inovasi yang efektif dalam pembuatan prosthesis karena mampu menghasilkan alat bantu yang lebih personal, ekonomis, ringan, dan nyaman digunakan. Hasil telaah lima artikel menunjukkan bahwa teknologi ini berpotensi meningkatkan kualitas rehabilitasi pasien amputasi melalui peningkatan fungsi ekstremitas, kepuasan pengguna, dan efisiensi proses produksi. Meskipun demikian, implementasinya masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan bukti klinis jangka panjang, standarisasi kualitas produk, pengembangan biomaterial, serta regulasi perangkat medis. Dari perspektif Islam, penggunaan teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pembuatan prosthesis diperbolehkan karena bertujuan mengembalikan fungsi tubuh, menghilangkan kemudharatan, dan memberikan kemaslahatan bagi pasien sesuai dengan tujuan syariat Islam.

Ada beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini antara lain: (i) Diperlukan penelitian klinis multisenter dengan jumlah sampel yang lebih besar untuk mengevaluasi efektivitas dan keamanan prosthesis berbasis *Three-Dimensional Printing* dalam jangka panjang; (ii) Pengembangan biomaterial yang lebih kuat, ringan, dan biokompatibel perlu terus dilakukan untuk meningkatkan kualitas prosthesis; (iii) Pemerintah dan organisasi profesi perlu menyusun standar nasional terkait desain, produksi, dan evaluasi prosthesis berbasis *Three-Dimensional Printing*; (iv) Institusi pendidikan dan rumah sakit diharapkan meningkatkan kolaborasi multidisiplin antara tenaga kesehatan, insinyur biomedis, dan peneliti dalam pengembangan teknologi prostetik; (v) Penelitian selanjutnya perlu mengkaji tidak hanya aspek klinis dan ekonomi, tetapi juga aspek kualitas hidup pasien, penerimaan masyarakat, serta perspektif etika Islam terhadap pemanfaatan teknologi *Three-Dimensional Printing* dalam pelayanan kesehatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh peneliti dan akademisi yang karya ilmiahnya menjadi sumber dalam penyusunan kajian ini. Apresiasi juga diberikan kepada institusi akademik dan penyedia basis data ilmiah yang mendukung proses penelusuran literatur. Penelitian ini dilakukan secara mandiri tanpa dukungan pendanaan khusus dari pihak eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Atallah, H., Qufabz, T., Naeem, R., et al. (2025). The current state of 3D-printed prostheses clinical outcomes: A systematic review. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(10), 370. <https://doi.org/10.3390/jfb16100370>
- Chainando, P., et al. (2025). Applying 3D scanning and printing techniques to produce upper limb prostheses: Bibliometric analysis and scoping review. *Prosthesis*, 7(2), 26. <https://doi.org/10.3390/prosthesis7020026>
- Chen, S., Pan, Z., Wu, Y., Gu, Z., & Li, M. (2020). The role of three-dimensional printing technology in medical applications: A review. *BioMedical Engineering Online*, 19, 1–18.
- Diment, L. E., Thompson, M. S., & Bergmann, J. H. M. (2018). Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: A systematic review. *BMJ Open*, 8(2), e018342. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018342>
- Germann, G., et al. (2023). Clinical applications of three-dimensional printing in upper extremity surgery: A systematic review. *Journal of Personalized Medicine*, 13(2), 294. <https://doi.org/10.3390/jpm13020294>
- Javaid, M., & Haleem, A. (2018). Additive manufacturing applications in medical cases: A literature based review. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4), 411–422.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ...

- Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pereira, J. S., et al. (2024). 3D-printed orthoses and prostheses for people with physical disability in rehabilitation centers: A scoping review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, 814. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07800-5>
- Sabri, A. M., Ramli, M. A., Abdul Rahman, N. N., & Hamdan, M. N. (2023). Three-dimensional (3D) printing of organs according to the perspective of Islamic law. *Asian Bioethics Review*, 15(1), 69–80. <https://doi.org/10.1007/s41649-022-00229-y>
- Segura, D., Romero, E., Abarca, V. E., & Elias, D. A. (2024). Upper limb prostheses by the level of amputation: A systematic review. *Prosthesis*, 6(2), 22. <https://doi.org/10.3390/prosthesis6020022>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016). 3D-printing techniques in a medical setting: A systematic literature review. *BioMedical Engineering Online*, 15, 115.
- Ten Kate, J., Smit, G., & Breedveld, P. (2017). 3D-printed upper limb prostheses: A review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(3), 300–314.