

SWOT ADDITIVE MANUFACTURING : TEKNOLOGI PROSTETIK & ORTOTIK BIDANG KESEHATAN

Anggi Egliana Putri¹, Banita Ihfatur Drama², Dwi Isneniah³, Febby Anggraeni Rochmah^{4*}, Nisa Yoelia Nur Allif⁵, Nunung Siti Sukaesih⁶

Pendidikan Profesi Ners Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Sumedang^{1,2,3,4,5,6}

*Corresponding Author : febbyanggg38@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dalam tiga dekade terakhir telah membawa perubahan besar di berbagai bidang, termasuk kesehatan. Salah satu inovasi penting adalah *additive manufacturing*, khususnya *3D printing*, yang semakin banyak digunakan dalam pembuatan prostetik dan ortotik. Teknologi ini menawarkan solusi yang lebih terjangkau, presisi tinggi, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Namun, masih terdapat tantangan seperti keterbatasan material dan daya tahan produk. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi manfaat serta tantangan penggunaan *3D printing* dalam pembuatan prostetik dan ortotik. Penelitian ini menggunakan metode *narrative review* dengan menelaah berbagai literatur ilmiah terkait penggunaan *3D printing* dalam bidang medis. Data diperoleh dari *Google Scholar* dengan kriteria inklusi berupa artikel *open access* yang dipublikasikan antara tahun 2016 hingga 2025. Kata kunci yang digunakan mencakup "Additive Manufacturing," "3D Printing," "Prostetik," "Ortotik," dan "Kesehatan." Data yang terkumpul dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi tren utama, keunggulan, serta tantangan teknologi ini. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa teknologi *3D printing* memungkinkan produksi prostetik dan ortotik yang lebih ringan, ergonomis, dan memiliki biaya lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Desain yang lebih presisi juga meningkatkan kenyamanan pengguna. Namun, tantangan seperti keterbatasan kekuatan material dan daya tahan produk masih menjadi kendala. Kesimpulannya, teknologi *3D printing* menawarkan solusi inovatif dengan produksi lebih cepat, biaya lebih rendah, dan desain yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Meskipun masih terdapat hambatan teknis, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kualitas material dan kenyamanan pengguna dalam jangka panjang.

Kata kunci : *3d printing, additive manufacturing, kesehatan, ortotik, prostetik*

ABSTRACT

Technological advancements over the past three decades have brought significant changes to various fields, including healthcare. One of the most important innovations is additive manufacturing, particularly 3D printing, which is increasingly used in the production of prosthetics and orthotics. This technology offers a more affordable solution with high precision and customization to meet users' needs. However, challenges such as material limitations and product durability remain. Therefore, this study aims to explore the benefits and challenges of using 3D printing in prosthetic and orthotic manufacturing. This study employs a narrative review method by examining various scientific literature related to the use of 3D printing in the medical field. Data were obtained from Google Scholar with inclusion criteria consisting of open-access articles published between 2016 and 2025. Keywords used included "Additive Manufacturing," "3D Printing," "Prosthetics," "Orthotics," and "Healthcare." The collected data were analyzed qualitatively to identify key trends, advantages, and challenges of this technology. The review findings indicate that 3D printing enables the production of prosthetics and orthotics that are lighter, more ergonomic, and more cost-effective than conventional methods. Additionally, more precise designs enhance user comfort. However, challenges such as material strength limitations and product durability remain obstacles. In conclusion, 3D printing technology offers an innovative solution with faster production, lower costs, and customizable designs to meet users' needs. Although technical challenges persist, further research is needed to improve material quality and long-term user comfort.

Keywords : *additive manufacturing, healthcare, orthotics, prosthetics, 3d printing*

PENDAHULUAN

Dalam tiga dekade terakhir, teknologi telah berkembang dengan sangat pesat, terutama di abad ke-21, di mana kini teknologi menjadi bagian tak terpisahkan dari aktivitas sehari-hari. Kemajuan signifikan juga terjadi di sektor kesehatan berkat perkembangan teknologi, meskipun masih terdapat berbagai tantangan dan hambatan, terutama karena berkaitan dengan aspek kehidupan dan kematian manusia. Dalam kemajuan teknologi tersebut, teknologi seperti *additive manufacturing* muncul sebagai teknologi yang digunakan dalam industri manufaktur untuk menghasilkan objek berbentuk tiga dimensi (Nurhaidha, et al, 2025). Saat ini, teknologi *additive manufacturing* (AM) berkembang dengan pesat. Salah satu metode *additive manufacturing* yang tengah populer di dunia kesehatan adalah metode 3D Printing. Teknologi pencetakan 3D Printing telah berkembang menjadi metode inovatif dan alat yang sangat berguna dalam prosedur transplantasi organ. Kemajuan dalam teknologi ini telah membawa perubahan besar di dunia medis, terutama dalam pembuatan organ buatan serta penggantian bagian tubuh yang hilang. Dengan keakuratan dan fleksibilitasnya, 3D printing memberikan solusi potensial untuk memenuhi kebutuhan transplantasi dan rekonstruksi medis secara lebih efisien (Nurhaidha et al., 2025).

Berdasarkan data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sekitar 10% dari populasi global atau sekitar 650 juta orang hidup dengan disabilitas atau cacat, termasuk mereka yang memiliki kesulitan dalam berpikir atau belajar. Dari jumlah tersebut, sekitar 80% tinggal di negara-negara berpenghasilan rendah. Disabilitas merupakan gangguan atau penurunan fungsi yang dapat diukur atau diamati secara objektif, yang disebabkan oleh hilangnya atau tidak normalnya bagian tubuh, seperti tidak adanya lengan atau kelumpuhan pada beberapa bagian tubuh. Kondisi ini dapat berlangsung secara permanen dan menghasilkan perilaku yang berbeda pada setiap individu. Misalnya, kerusakan otak bisa menyebabkan seseorang mengalami kecacatan intelektual, *hiperaktivitas*, kebutaan, dan lain sebagainya (Sunarto et al, 2023).

Salah satu isu penting dalam disabilitas adalah meningkatnya jumlah yang mengalami amputasi. Amputasi adalah prosedur medis yang dilakukan untuk memisahkan sebagian atau seluruh ekstremitas yang rusak atau terinfeksi. Dalam kondisi darurat, amputasi dapat dilakukan sebagai tindakan terakhir untuk menyelamatkan nyawa pasien (Setyawan et al, 2024). Jumlah orang yang mengalami kehilangan sebagian anggota tubuh terus meningkat, yang berdampak pada tingginya biaya perawatan kesehatan. Kondisi ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk cedera parah, kelainan sejak lahir, tumor, kecelakaan, serta penyakit medis seperti diabetes (Hudaya et al., 2024). Amputasi pada ekstremitas atas lebih jarang ditemukan dibandingkan dengan ekstremitas bawah, dengan perkiraan satu pasien amputasi ekstremitas atas untuk setiap 30 pasien yang mengalami defisiensi pada ekstremitas bawah setiap tahunnya (Sang et al., 2016).

Tidak adanya salah satu anggota tubuh menyebabkan terganggunya fungsi organ tubuh. Sekitar 66% individu yang mengalaminya menghadapi kesulitan dalam berolahraga, menjalani hobi, dan menyelesaikan pekerjaan rumah tangga. Bahkan, banyak di antaranya terpaksa berhenti bekerja karena tidak mampu beradaptasi dengan tugas sehari-hari (Kamil et al., 2020). Oleh karena itu, alat bantu diperlukan untuk mengganti bagian tubuh yang hilang dengan yang disebut prostetik. Prostetik adalah sebuah mekanisme teknikal yang dibuat untuk pengganti fungsi anggota badan atau bagian badan yang hilang. Prostetik sudah digunakan dengan baik sebagai alat penting dalam tindakan amputasi (Mubarak, 2020).

Prostesik bagi pasien dengan amputasi bervariasi, mulai dari model kosmetik hingga yang lebih canggih dan mekanis. Namun, di negara berkembang, prostesis berteknologi tinggi masih sulit diakses akibat faktor kompleksitas, biaya, serta keterbatasan keahlian dalam pembuatannya. Sebelumnya, prostesis yang tersedia di negara berkembang telah ditinjau secara

mendalam (Alturkistani et al., 2020). Secara umum, prostesik untuk anggota tubuh atas terbagi menjadi tiga jenis: kosmetik (non-fungsional), mekanis, dan bertenaga. Meskipun telah terjadi kemajuan dalam pengembangannya, tingkat kepuasan pasien tetap rendah, sehingga banyak yang memilih untuk tidak menggunakaninya. Penggunaan prostesik dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis kelamin, usia, penyebab amputasi, dan tingkat keparahannya (Moradi-Hades et al., 2019). Prostetik di cetak menggunakan *3D printing*. Printer 3D, juga dikenal sebagai *additive layer manufacturing* adalah teknologi yang memungkinkan pembuatan objek tiga dimensi padat dari model digital. Proses ini mirip dengan printer laser, di mana objek dibuat dengan menumpuk lapisan-lapisan yang dicetak secara bertahap. Teknologi *3D Printing* dapat menjadi solusi untuk membuat *customized prostetik*. *Customized prostetik* adalah prostetik yang mempunyai bentuk dan ukuran dengan anggota tubuh penggunanya (Wijayanto, et al, 2022).

Inovasi ini membawa harapan baru bagi pasien yang memerlukan transplantasi organ, sekaligus menjadi solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan donor. Dengan teknologi ini, bagian tubuh dapat dibuat lebih sesuai dengan struktur anatomi masing-masing individu, sehingga dapat mengurangi risiko penolakan oleh sistem imun. Pemanfaatan teknologi *3D printing* ini sangat penting bagi dunia kesehatan. Secara umum, penerapan *3D printing* dalam desain serta pengembangan prostetik memiliki berbagai manfaat potensial, seperti peningkatan personalisasi, efisiensi dalam waktu dan biaya, serta hasil klinis yang lebih baik terutama dalam bidang kesehatan. Namun, tantangan dalam implementasi teknologi ini masih memerlukan penelitian lebih mendalam serta pengembangan kerangka kerja yang lebih sistematis agar manfaatnya dapat dimaksimalkan secara optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi manfaat serta tantangan penggunaan *3D printing* dalam pembuatan prostetik dan ortotik.

METODE

Penelitian ini merupakan *narrative review* yang bertujuan untuk menilai, menganalisis, dan merangkum *literatur* terkait penggunaan *Additive Manufacturing* dan *3D Printing* dalam pembuatan prostetik dan ortotik tangan. Penelitian dilakukan secara daring dengan mengakses *Google Scholar* sebagai sumber utama literatur, dengan artikel yang dipublikasikan antara tahun 2016 hingga 2025 sebagai kriteria inklusi. Desain penelitian menggunakan pendekatan kajian literatur dengan instrumen berupa daftar kata kunci pencarian, kriteria seleksi, serta tabel ekstraksi data yang mencakup tujuan penelitian, metode, hasil, dan kesimpulan. Data dianalisis dengan membandingkan temuan dari berbagai studi yang relevan, kemudian disintesis untuk mengidentifikasi tren, keunggulan, keterbatasan, serta potensi pengembangan teknologi *3D Printing* dalam pembuatan prostetik dan ortotik. Uji etik tidak diperlukan karena penelitian ini hanya menggunakan data sekunder dari literatur yang telah dipublikasikan, namun tetap berpegang pada prinsip etika penelitian dengan memastikan validitas dan kredibilitas sumber yang digunakan.

HASIL

Perkembangan inovatif dalam penerapan teknologi *3D printing* untuk pembuatan prostetik dan ortotik tangan. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Hussein et al. (2019) berfokus pada pengembangan tangan bionik berbasis *3D printing* yang ringan dan berbiaya rendah dengan optimalisasi sensorik. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa perangkat yang dihasilkan dapat menunjang aktivitas sehari-hari, memberikan bukti bahwa prostetik dengan teknologi cetak 3D dapat diakses oleh siapa saja yang tertarik untuk mengembangkan solusi serupa. Sejalan dengan itu, Waluyo (2021) menjelaskan proses pembuatan *orthosis* tangan

menggunakan metode *Additive Manufacturing* (AM) dan *Reverse Engineering* (RE). Metode ini dikembangkan sebagai alternatif dari teknik tradisional yang menggunakan cetakan plester. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode AM dan RE dapat menghasilkan *orthosis* yang sesuai dengan kebutuhan pasien dari segi kenyamanan, kekuatan material, serta efisiensi waktu produksi. Hal ini menggaris bawahi keunggulan teknologi cetak 3D dalam menciptakan perangkat medis yang presisi dan efektif.

Penelitian yang lebih luas dilakukan oleh Barrios-Muriel et al. (2020) yang menganalisis berbagai metodologi dalam pembuatan ortotik dan prostetik dengan mengadopsi teknik *rapid prototyping* seperti FDM dan SLS. Studi ini menegaskan bahwa teknik-teknik tersebut telah membawa perubahan besar dalam industri manufaktur perangkat rehabilitasi dengan meningkatkan presisi dan mempercepat proses produksi. Penemuan ini mendukung potensi teknologi 3D printing sebagai solusi inovatif dalam bidang kesehatan. Lebih lanjut, penelitian oleh Alturkistani et al. (2020) memberikan perspektif yang penting dengan merancang prostetik tangan parsial yang terjangkau untuk pasien di negara berkembang. Desain prostetik ini berbentuk sarung tangan pasif dengan biaya pembuatan hanya sekitar 20 USD. Meskipun perangkat tersebut dapat meningkatkan kemampuan pegangan manual pasien, terdapat keterbatasan dalam kekuatan pegangan yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Janna et al. (2024) juga memberikan kontribusi signifikan dengan mengembangkan tangan bionik berbasis 3D printing untuk penyandang tunadaksa. Perangkat yang dihasilkan mampu menggerakkan jari dengan akurasi sekitar 90% dan menunjukkan respons yang cepat tanpa *delay signifikan*. Namun, tantangan dalam mengatasi getaran saat pergerakan jari masih menjadi fokus perbaikan. Penelitian oleh Al Haris (2021) semakin memperluas inovasi dengan menciptakan tangan prosthesis bawah siku berbasis Flexy Hand 2 menggunakan metode *trial and error*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat ini mampu menirukan gerakan dasar tangan seperti menggenggam dan mengambil benda dengan *delay* komunikasi sekitar 132 hingga 260 milidetik, memperluas ruang lingkup penggunaan *Flexy Hand 2* untuk penyandang tuna daksa bawah siku.

Selanjutnya, Chaerunisa et al. (2024) menyoroti pentingnya pemodelan dan simulasi dalam pembuatan prostetik jari berbahan *Polylactic Acid* (PLA) menggunakan metode elemen hingga (FEM). Simulasi menunjukkan bahwa desain ini aman dan siap untuk difabrikasi dengan deformasi maksimal 0,22 mm dan tegangan maksimum sebesar 3,36 MPa. Sebagai penutup, Hudaya et al. (2024) menunjukkan keberhasilan dalam memanfaatkan teknologi 3D printing dan sensor fleksibel untuk mengembangkan tangan prosthesis bawah siku berbasis penggerak kabel *harness*. Prototipe yang dihasilkan mampu menirukan gerakan dasar tangan dengan *delay* yang minimal, menunjukkan bahwa teknologi ini efektif dan terjangkau untuk penyandang disabilitas. Secara keseluruhan, hasil tinjauan literatur ini menegaskan bahwa teknologi 3D printing memiliki potensi besar dalam pembuatan prostetik dan ortotik tangan yang fungsional, terjangkau, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Meskipun terdapat tantangan teknis yang perlu diatasi, kemajuan dalam penelitian ini memberikan arah positif untuk pengembangan perangkat medis yang lebih inovatif dan bermanfaat di masa depan.

PEMBAHASAN

Proses Pembuatan Teknologi Prostetik dan Ortotik pada Pasien Amputasi (Hussein et al., 2019). Hasil desain akhir akan dicetak menggunakan printer 3D. Proses pencetakan dengan bahan *poly lactid acid* (PLA) dan *flexible poly lactid acid* (PLA) memiliki pengaturan pada printer 3D yang berbeda. Sementara pada proses pencetakan dilakukan pencetakan dengan material PLA dulu karena bagiannya banyak, baru dilanjutkan *flexible PLA*. PLA dipilih menjadi material utama dalam pembuatan tangan tiruan mekanik dikarenakan memiliki harga yang terjangkau. Dengan menggunakan material ini diharapkan mampu memotong biaya

produksi tangan mekanik. PLA selain jenis yang pada umumnya, yaitu setelah dicetak akan mengeras, adapula jenis PLA yang lain, yaitu *flexible poly lactid acid (PLA)*. Nama lain *flexible poly lactid acid*, yaitu *thermoplastic polyurethane (TPU)* merupakan salah satu kelas plastik poliuretan dengan banyak sifat, termasuk elastisitas, transparansi, dan ketahanan terhadap minyak, lemak dan abrasi. Secara teknis, mereka adalah elastomer termoplastik yang terdiri dari kopolimer blok tersegmentasi linier yang terdiri dari segmen keras dan lunak. Flexible PLA dipilih menjadi material pendukung dalam pembuatan tangan tiruan mekanik dikarenakan kegunaannya. Tangan prosthesis bawah siku yang dibuat, dapat menjadi alat bantu gerak dengan gerakan dasar seperti menggenggam benda dan mengambil benda (Cipta, 2024).

Analisa SWOT Dalam Teknologi Prostetik dan Ortotik

Strength (Kekuatan) dari jurnal mengenai Teknologi *3D printing* prostetik ortotik tangan yaitu pembuatan teknologi *3D printing* ini lebih mudah, cepat dan mendetail dibandingkan yang konvensional (Waluyo, 2021). Waktu pembuatan untuk 1 buah produk *3D printing* prostetik tangan ini memakan waktu 11 jam, sedangkan manufaktur konvensional bisa memakan waktu 3 – 7 hari (Alturkistani et al., 2020) teknologi *3D printing* prostetik ortotik tangan ini juga mampu menyesuaikan ukuran dengan anggota tubuh yang akan di rekonstruksi yang dimana ukuran dari tiap individu berbeda sehingga memberikan kenyamanan pada individu yang akan memakainya Keunggulan *3D printing* lainnya yaitu kecepatan fabrikasi yang baik dan biaya yang rendah, selain itu teknologi *3D printing* ini mampu menyerupai bentuk asli dari desain anggota tubuh individu yang hilang, berbahan ringan dan mudah di lepas pasang (Chaerunisa et al., 2024). *3D Printing* menawarkan solusi yang potensial disaat manufaktur konvesional mencapai batas teknologinya. Menurut (Yudistira, 2021) keunggulan lain dari *3D printing* prostetik ortotik ini beberapa bagian dapat dibuat tanpa mengharuskan klien datang untuk mengukur, jadi hasilnya akan menyesuaikan sendiri dengan penggunanya dan bentuknya pun proporsional.

Weakness (Kelemahan) dari jurnal mengenai teknologi *3D printing* prostetik ortotik tangan ini yaitu adanya rasa tidak nyaman diawal pemakaian *3D printing* prostetik ini dikarenakan masih adanya sedikit bagian yang kasar karena hasil *3D printing* yang kurang halus serta adanya bagian kecil *support* yang masih menempel di bagian sudut – sudut alatnya (Waluyo, 2021). Selain itu, kekurangan dari *3D printing* prostetik ortotik tangan ini masih lemah untuk bagian menggenggam benda – benda yang berat, sehingga diperlukan optimalisasi (Alturkistani et al., 2020). Menurut (Niswa & Widasari, 2017) kelemahan dari teknologi ini terletak pada regulasi dan standar keamanan yang harus diperkuat dengan sertifikasi terutama pada bidang medis. Selain itu, adaptasi pasar dan penerimaan pengguna untuk teknologi baru ini memerlukan waktu terutama bagi pengguna yang awam dan kurang mengerti teknologi terkini (Robby, 2017)

Opportunity (peluang), teknologi *3D printing* prostetik ortotik ini menjadi solusi baru bagi penyandang disabilitas yang memerlukan adanya prostetik untuk bagian tubuhnya sebagai pengganti manufaktur konvesional yang terbatas teknologinya (Alturkistani et al., 2020), hal ini sejalan dengan penelitian (Janna et al., 2024) yang menjelaskan bahwa *3D printing* prostetik ortotik ini dapat menjadi peluang yang besar apabila terus dikembangkan dengan baik mengingat hasil akhir dari alat yang dibuat mampu memberikan kesempatan bagi para penderita tunadaksa untuk dapat beraktivitas normal kembali. Penelitian dari (Choo, 2020) menyoroti aspek keberlanjutan dari *3D printing* prostetik ortotik, di mana penggunaan teknologi ini berkontribusi dalam mengurangi limbah produksi dibandingkan metode manufaktur tradisional. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya membuka peluang bagi individu penyandang disabilitas tetapi juga selaras dengan prinsip ramah lingkungan.

Threats (ancaman), adanya persaingan antara pembuat teknologi *3D printing* dengan konvensional karena *3D printing* prostetik ortotik lebih unggul dibandingkan konvesional dari

segi bahan, waktu dan lainnya (Chaerunisa et al., 2024). Hal ini juga diperkuat dengan penelitian dari (Hudaya et al., 2024) yang menjelaskan bahwa pembuatan teknologi *3D printing* ini menghabiskan biaya yang relatif murah dibandingkan konvensional yang membuat pabrik - pabrik konvensional memiliki ancaman dari pihak pihak yang memproduksi secara *3D printing*. Metode pencetakan *3D* juga dapat mengurangi biaya produksi dan waktu pembuatan secara signifikan, yang dapat mengancam keberlangsungan pabrik-pabrik konvensional yang memiliki biaya *overhead* lebih tinggi (Sunarto,2023) Selain itu, diversifikasi pasar akan mempengaruhi bisnis konvensional karena mudahnya akses ke *3D printing* (Ihya et al., 2022). Diversifikasi pasar ini dapat mengurangi pangsa pasar produsen tradisional dan memaksa mereka untuk berinovasi atau menurunkan harga untuk tetap kompetitif (Haerdy, 2023).

KESIMPULAN

Teknologi *Additive Manufacturing (3D Printing)* dalam pembuatan prostetik dan ortotik memiliki keunggulan dalam hal produksi cepat, biaya rendah, dan desain yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu. Teknologi ini memungkinkan pembuatan perangkat medis yang lebih ergonomis dan terjangkau. Namun, masih terdapat tantangan seperti kekuatan material, ketahanan pegangan, serta ketidaknyamanan awal pemakaian. Secara keseluruhan, teknologi ini berpotensi besar untuk merevolusi industri prostetik dan meningkatkan kualitas hidup penyandang disabilitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapan kepada seluruh pihak yang ikut serta dalam membantu dan memberikan dukungan moral untuk kami dalam menyelesaikan artikel ini, semoga artikel ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

Alturkistani R, A K, Devasahayam S, Thomas R, Colombini EL, Cifuentes CA, Homer-Vanniasinkam S, Wurdemann HA, Moazen M. *Affordable passive 3D-printed prosthesis for persons with partial hand amputation*. *Prosthet Orthot Int*. 2020 Apr;44(2):92-98. doi: 10.1177/0309364620905220. Epub 2020 Feb 26. PMID: 32100630; PMCID: PMC7364768.

Choo, Y. J., Boudier-Revéret, M., & Chang, M. C. (2020). *3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review*. *Annals of Palliative Medicine*, 9(5), 26–26. doi:10.21037/apm-20-1185

Cipta, M. H. A. K. (2024). Pembuatan Tangan Palsu Menggunakan Teknologi 3d Printing Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Pasien Amputasi.

Deni, A. (2023). Manajemen Strategi di Era Industri 4.0. Cendikia Mulia Mandiri.

Fadri, Zainal, and S. F. (2024). Era Digital Dan Dampaknya Terhadap Administrasi Publik. Reformasi Birokrasi Dalam Administrasi Publik: Tantangan Dan Peluang Di Era Digital 61.

Haerdy, R. S. M., & Nurzannah, I. F. (2023). Potensi dan Kendala Penerapan Teknologi 3D printing dalam Penyediaan Hunian Layak dan Terjangkau di Indonesia. *Reka Karsa: Jurnal Arsitektur*, 11(3), 15-22.

Hudaya, A. Z., Winarso, R., Rohman, N., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Kudus, U. M. (2024). Proses Manufaktur Lengan Prostesis Berbasis Penggerak Kabel Harness Menggunakan Teknologi 3d Printing. 26(4), 33–46.

Ihya, M., Adi, M., Ismail, R., Setiyana, B., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2022). Pengaruh Variasi Jenis Resin Dan Waktu Curing Pada Hasil Cetakan 3D Printing Terhadap Nilai Material Properties. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 139–144

Izzadilla Hidayanu Pratiwi, & Dewi Rahmi. (2024). Peran Corporate Social Responsibility dalam Meningkatkan Kesejahteraan Penyandang Disabilitas (Studi Kasus CSR PT Bio Farma). *Bandung Conference Series: Economics Studies*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.29313/bcses.v4i1.9605>

Janna, R. F., Nur'aidha, A. C., & Kumarajati, D. Y. H. (2024). Tangan Bionik Sebagai Teknologi Tepat Guna Untuk Penyandang Tuna Daksa Berbasis 3D Printing. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 5(1), 50. <https://doi.org/10.22146/juliet.v5i1.91241>

Mubarak, A. J. (2020). Customization Designs And Biomechanical Analysis Of Transtibial Prosthetic Leg (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).

Nas, C., Lukita, C., Sevtiana, A., Alfalih, O. F., Ramadhani, S. A., & Effendy, M. D. (2023). Pengabdian Masyarakat Internasional Pembuatan Desain 3d Kaki Palsu Dengan Blender Sebagai Penunjang Kegiatan Pembuatan Kaki Palsu (Prostheses) Bersama Src Holland. *Jurnal Abdimas Universitas Insan Pembangunan Indoneisa*, 1(1), 47-52.

Niswa, K., & Widasari, E. R. (2017). Deteksi Gestur Tangan Menggunakan Metode Support Vector Machine (SVM) Untuk Lengan Prostetik Bionik. 1(1).

Novianti Indah Putri, Suharya, Y., Munawar, Z., & Komalasari, R. (2022). Pengaruh Komunikasi Digital di Masa Pandemi Covid-19 Terhadap Perubahan Perilaku Masyarakat. *Komversal*, 3(2),

Nurhaidha, R. T., Nurani, S., Al-Islami, Z. N., & Cahyanto, T. (2025). Perkembangan Teknologi Organ Tiruan Cetakan 3D (Bioprinting) dalam Perspektif Bioetika dan Hukum Islam. *Vitalitas Medis: Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 2(1), 160-184.

Robby, M. N. (2017). Motion Simulator Design and Monitoring System to Move and Monitor Electric Prosthetic Hands. *Jurnal Teknik ITS*, 82. 90–101. <https://doi.org/10.38204/komversal.v3i2.649>

Rochaendi, E., Wahyudi, A., & Perdana, R. (2021). Kompetensi Teknologi, Pedagogi, dan Konten Guru SD Negeri dan Swasta di Kota Cimahi, Jawa Barat. *JPDI (Jurnal Pendidikan Dasar Indonesia)*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.26737/jpdi.v6i1.2222>

Setyawan, D., & Fatat, M. (2024). Hubungan Jenis Prosthetic Foot Terhadap Hiperekstensi Dan Kelemahan Ligamen Pada Pengguna Prostheses Transtibial: *Indonesian. Medical Journal of Nusantara*, 3(2), 105-112.

Sunarto, G., Katmini, K., & Eliana, A. D. (2023). Efektifitas Biaya Penggunaan Teknologi Pencetakan 3D (Industri 4.0) Pada Alat Bantu Ortotik Prostetik. *Jurnal Penelitian Kesehatan " Suara Forikes" (Journal Of Health Research" Forikes Voice")*, 14(1), 17-26.

Waluyo, D. A. (2021). Pembuatan Orthosis Tangan Menggunakan Metode Reverse Engineering dan Rapid Prototyping. <https://dspace.uji.ac.id/handle/123456789/31042%0Ahttps://dspace.uji.ac.id/bitstream/handle/123456789/31042/16525064 Dhima Adi Waluyo.pdf?sequence=1>

Wijayanto, S. E. Y., Handoko, R., Noel, J. C., & Anggawirawan, T. W. (2022). Identifikasi Jenis Infill Pattern Pada Proses 3d Printing Yang Menghasilkan Hasil Cetak Dengan Kekuatan Tekan Dan Panjang Filamen Yang Optimal. *Rekayasa Mesin*, 13(2), 531-539.

Yudistira, L. M. (2021). Pembuatan Brace Scoliosis Dengan Metode Reverse Engineering Dan Rapid Prototyping. <https://dspace.uji.ac.id/handle/123456789/37459%0Ahttps://dspace.uji.ac.id/bitstream/handle/123456789/37459/16525017.pdf?sequence=1>