

Pengaruh Penggunaan *Prototype 3D Printing* Berbahan PLA terhadap Tingkat Pemahaman Operator di Industri Furnitur (Studi Kasus di CV Kalingga Putra, Jepara)

Thomas Djorgie¹, Herianto Herianto*², Lina Dianati Fathimahhayati³, Widyastuti Widyastuti⁴

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Mesin dan industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³Universitas Mulawarman, Kalimantan Timur, Indonesia

⁴Universitas Muhammadiyah Gombong, Jawa tengah, Indonesia

e-mail: thomas.djorgie@mail.ugm.ac.id, [*herianto@ugm.ac.id](mailto:herianto@ugm.ac.id), linadianatif@ft.unmul.ac.id, widyastuti526867@mail.ugm.ac.id

(artikel diterima: 19-07-2014, artikel disetujui: 06-09-2024)

Abstrak

Perusahaan manufaktur berbasis ekspor di jepara membuat produk wood cap, yang merupakan dekorasi bagian atas pagar berbahan dasar kayu. Pembuatan produk oleh operator mengacu pada prototype buatan klien. Prototype milik klien dibuat dengan metode konvensional, sehingga ditemukan error dimensi sebesar 25% yang akan berpotensi memberikan informasi geometri yang salah pada operator, serta berpotensi menyebabkan kesalahan pada pembuatan jig and fixture. Dengan prototype 3D printing (3DP) mampu mencapai akurasi tinggi dan tingkat error yang rendah. Perbandingan performa operator dengan menggunakan prototype Master (konvensional) dan prototype 3DP berbahan polylactic acid (PLA) dibuktikan melalui evaluasi usabilitas. Dimensi usabilitas yang digunakan adalah efektivitas, efisiensi, dan kepuasan. Melalui dimensi efektivitas, prototipe 3DP mencapai 84,551% lebih tinggi dibandingkan dengan prototype Master yang hanya sebesar 76,186%. Sementara untuk dimensi efisiensi, prototipe 3DP sebesar 0,406%/s sedangkan untuk prototipe Master hanya mencapai 0,342%/s. Tingkat kepuasan penggunaan prototipe 3DP terbilang tinggi dengan skor System Usability Scale (SUS) sebesar 83, dan untuk prototipe konvensional mencapai skor 84,25.

Kata kunci: 3D Printing, Tingkat Pemahaman, Usabilitas, Wood Cap

Abstract

An export-based manufacturing company in Jepara makes wood cap products, which are decorations for the top of fences made from wood. Product manufacturing by operators refers to prototypes made by clients. The client's prototype was made using conventional methods, so a dimensional error of 25% was found which would have the potential to provide wrong geometric information to the operator, as well as potentially causing errors in the set up of the jig and fixture. With 3D printing (3DP) prototypes, we can achieve high accuracy and low error rates. Comparison of operator performance using the Master prototype (conventional) and the 3DP prototype made from polylactic acid (PLA) was proven through usability evaluation. The dimensions of usability used are effectiveness, efficiency and satisfaction. Through the effectiveness dimension, the 3DP prototype reached 84.551% higher than the Master prototype which was only 76.186%. Meanwhile, for the efficiency dimension, the 3DP prototype is 0.406%/s while the Master prototype only reaches 0.342%/s. The level of satisfaction with using the 3DP prototype is fairly high with a System Usability Scale (SUS) score of 83, and for the conventional prototype it reaches a score of 84.25.

Keywords: 3D Printing, Level of Understanding, Usability, Wood Cap

1. PENDAHULUAN

Bisnis furnitur merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia, dengan kontribusi besar tidak hanya dari perusahaan besar tetapi juga dari usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Data dari Badan Pusat Statistik (2023) menunjukkan bahwa nilai ekspor furnitur Indonesia mencapai 2,81 miliar USD, dengan Amerika Serikat sebagai konsumen terbesar. Produk furnitur yang diekspor umumnya berbahan dasar kayu, termasuk produk dekorasi rumah yang juga memiliki pangsa pasar yang besar.

CV Kalingga Putra (KP) merupakan sebuah perusahaan manufaktur furnitur kayu yang berlokasi di Jepara yang memproduksi berbagai produk termasuk *Wood Cap*, sebuah dekorasi

penutup bagian atas pagar rumah. Klien utama CV KP adalah perusahaan bahan bangunan di Tampa, Florida, Amerika Serikat. Proses pemesanan dimulai dengan klien mengirimkan *Master Prototype* fisik ke CV KP. Setelah mempelajari *prototype* tersebut, CV KP membuat sampel *Wood Cap* yang kemudian dikirim kembali ke klien untuk diperiksa. Jika sampel disetujui, CV KP akan memulai produksi massal. Produk *Wood Cap* memiliki desain yang kompleks dengan toleransi ketat sehingga dengan adanya *prototype* yang akurat dapat membantu operator dalam memproduksi produk tersebut.

Metode *prototyping* dengan 3D Printing (3DP) memiliki tingkat akurasi dimensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode konvensional (Davda et al., 2017). Hal ini sangat penting untuk menghindari kesalahan produksi dan memastikan bahwa setiap produk memenuhi standar kualitas yang diinginkan oleh klien. Dengan adopsi teknologi 3DP, *file Computer Aided Design* (CAD) dari *prototype Master* dapat dikirim secara digital oleh klien dan dicetak di lokasi CV KP. Hal ini mengeliminasi kebutuhan pengiriman *prototype* fisik. Metode ini tidak hanya mempercepat *timeline* produksi tetapi juga mengurangi biaya pengiriman, menjadikannya solusi yang lebih efisien dan efektif bagi CV KP dalam memenuhi permintaan klien (Özceylan et al., 2017).

Teknologi 3DP masih relatif baru di Indonesia, terutama dalam industri furnitur. Maka dari itu perlu dilakukan suatu pengujian untuk melihat apakah suatu pengadopsian teknologi baru dapat dengan mudah diterapkan di suatu perusahaan atau tidak. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan adalah dengan menguji tingkat pemahaman operator dalam mendesain produk melalui pengujian usabilitas. Atribut yang menjadi penilaian menurut ISO 9241-11 (1998) antara lain : *effectiveness*, *efficiency*, dan *satisfaction*.

Teknologi 3DP yang paling sering digunakan dalam pembuatan furnitur adalah *fused filament fabrication* (FFF), *fused deposition modeling* (FDM), dan *selective laser sintering* (SLS) (Nicolau et al., 2022). Teknologi FDM digunakan pada penelitian ini karena biayanya rendah, praktis, dan prosesnya fleksibel (Shahrudin et al., 2019). Material yang paling umum digunakan adalah ABS *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) dan *polylactic acid* (PLA) (Kluska et al., 2018).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Subjek dan Objek Penelitian

Berdasarkan dimensi usabilitas efektivitas, efisiensi, dan kepuasan, data yang diperoleh termasuk dalam performance measurement yang membutuhkan minimal jumlah responden 10 orang (Nielsen, 1993), yang dapat dilihat melalui Tabel 1. Responden berjumlah 10 orang berjenis kelamin laki-laki dengan usia rata-rata 44 tahun dan masa kerja rata-rata 10 tahun. Pengrajin kayu berdomisili di Jepara dan memiliki ketrampilan yang sama berdasarkan catatan kinerja perusahaan.

Tabel 1 Jumlah Partisipan untuk Evaluasi Usabilitas

No	Metode	Kebutuhan Responden
1	<i>Thinking Aloud</i>	3-5
2	<i>Heuristic Evaluation</i>	0
3	<i>Performance Measures</i>	≥ 10
4	<i>Card Sorting</i>	15 per user group
5	<i>System Usability Scale</i> (SUS)	≥ 5
6	<i>Focus Groups</i>	6 – 9 per user group
7	<i>Interviews</i>	≥ 5
8	<i>Logging Actual Use</i>	≥ 20
9	<i>Questionnaires</i>	≥ 30
10	<i>User Feedback</i>	<i>So many (hundreds)</i>

Sedangkan, objek penelitian ini adalah *prototype wood cap* (312 NEW ENG) yang dikerjakan secara konvensional dan *prototype wood cap* yang dicetak menggunakan mesin 3D printer dengan material PLA (312 PYR) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Filamen PLA digunakan karena lebih

sedikit dalam konsumsi energi dibandingkan dengan bahan ABS yang memerlukan temperatur yang lebih tinggi. PLA merupakan turunan dari jagung sehingga bersifat *bio-degradable* (Gokhare et al., 2017).



Gambar 1. (a) *Prototype* Konvensional (b) *Prototype 3D Printing*

2.2 Pengolahan Data

Dimensi usability yang diukur dalam penelitian ini adalah efektifitas, efisiensi dan kepuasan. Efektivitas suatu sistem dapat dihitung menggunakan perhitungan *success rate* dengan rata-rata *success rate* yang normal adalah 78% (Sauro, 2012). Perhitungan *success rate* menggunakan persamaan yang ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$User's\ Success\ Rate\ (\%) = \frac{(S+(Px0,5))}{Total\ Task} \times 100\% \quad (1)$$

Sedangkan dimensi efisiensi didapatkan dari seberapa cepat *user* menyelesaikan tugas dengan menggunakan sistem yang ada. Efisiensi dihitung dengan rasio tingkat keberhasilan pengguna, dengan waktu yang digunakan oleh *user* untuk menyelesaikan tugas yang diberikan (Albert et al., 2008). Perhitungan tingkat efisiensi dapat dihitung dengan Persamaan 2.

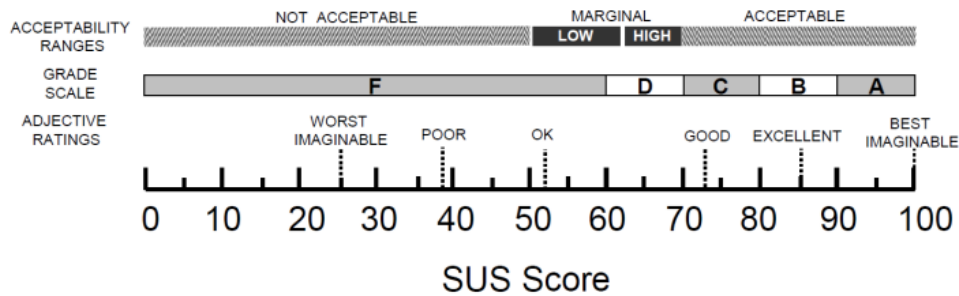
$$Efficiency\ (\%) = \frac{User's\ Success\ Rate}{Time\ on\ Task} \quad (2)$$

Berdasarkan hal tersebut, maka data primer yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *success rate* yang dihitung dari tingkat keakuratan dimensi dari *wood cap* buatan operator setelah dihadapkan pada *prototype*, waktu penyelesaian pembuatan *wood cap*, dan data tingkat kepuasan operator terhadap *prototype wood cap*. Tingkat kepuasan operator diukur dengan menggunakan kuisisioner *System Usability Scale* (SUS).

SUS adalah kuisisioner yang terdiri dari sepuluh pertanyaan dengan skala Likert yang memiliki lima opsi jawaban, mulai dari “sangat setuju” hingga “sangat tidak setuju” untuk mengukur tingkat kepuasan atau *satisfaction* dalam usability (Brooke, 1996).

Metode untuk menghitung hasil dari kuisisioner SUS adalah menjumlahkan *score contributions* setiap *item* dengan jangkauan setiap *item* adalah 0 sampai 4. Untuk *item* ganjil (1,3,5,7, dan 9) *score contribution* menjadi posisi skala Likert dikurangi 1 sementara untuk *item* genap (2,4,6,8, dan 10), *score contributions* menjadi 5 dikurangi posisi skala Likert. Seluruh hasil penjumlahan *score contributions* dikalikan 2,5 untuk mendapatkan keseluruhan skor SUS (Brooke, 1996). Nilai akhir dari SUS berkisar pada 0 sampai 100, nilai yang tinggi menunjukkan tingkat usability yang lebih baik.

Semua skor SUS dari partisipan dijumlahkan kemudian dibagi jumlah partisipan untuk didapatkan rata-rata skor SUS untuk dinilai sesuai skala penilaian pada Gambar 2.

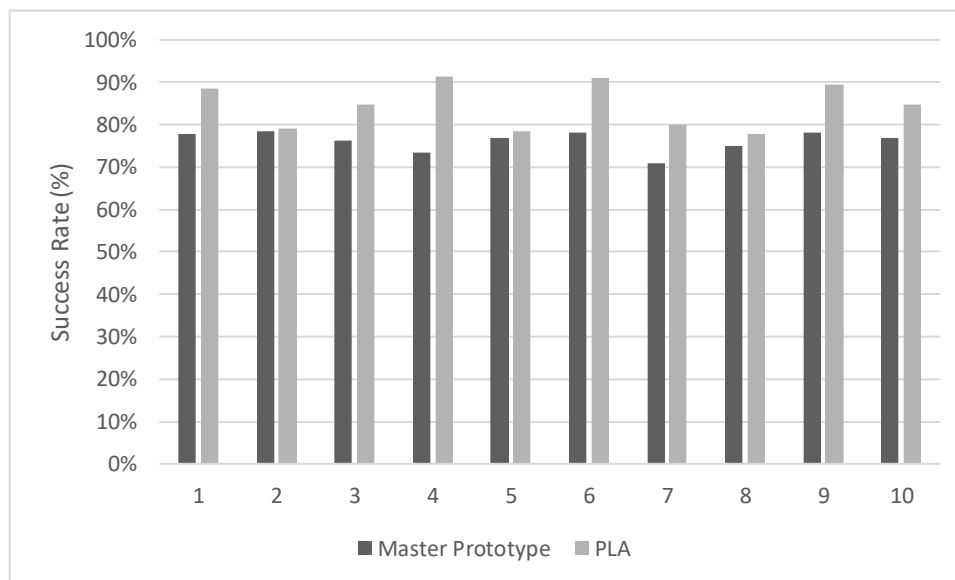


Gambar 2. Skala Penilaian *System Usability Scale* (Brooke, 1996)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tingkat Efektivitas *Prototype 3D Printing*

Efektivitas operator dihitung menggunakan *success rate* dari pekerjaan masing-masing responden dalam ketepatan dimensi produk yang telah dibuat. Perbandingan efektivitas antara *prototype* yang dibuat dengan metode konvensional dibandingkan dengan *3D printing* (3DP) dapat dilihat pada Gambar 3.



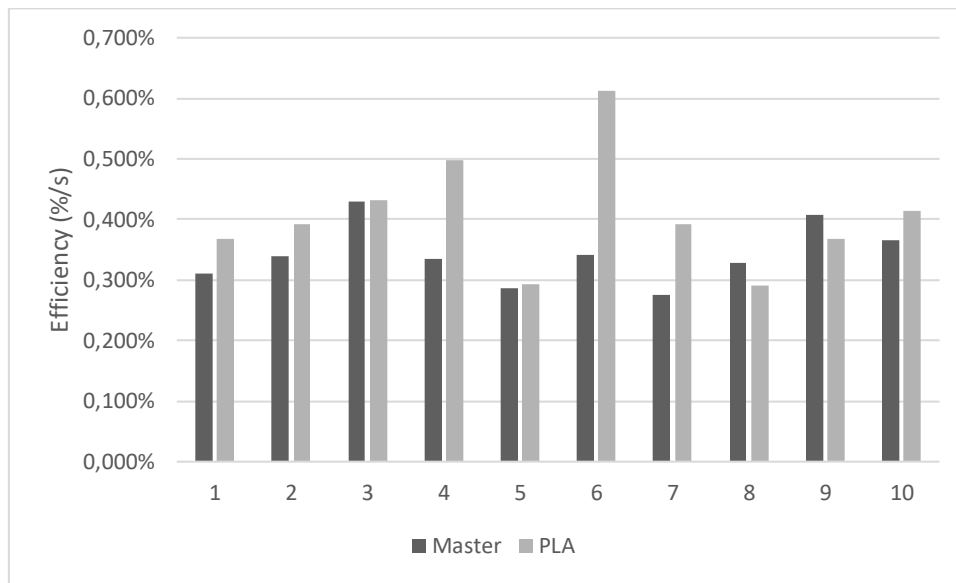
Gambar 3. Perbandingan Efektivitas *Prototype*

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa rata-rata *success rate* pada *prototype* 3DP lebih tinggi daripada *prototype* konvensional. Rata-rata nilai *success rate* penggunaan *prototype* konvensional adalah 76,186%. Sedangkan rata-rata nilai *success rate* penggunaan *prototype 3DP* PLA mencapai 84,551%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat efektivitas operator jika menggunakan *prototype 3D printing* lebih baik daripada jika menggunakan *prototype* konvensional. *Prototype* yang dibuat dengan 3DP memiliki tingkat *error* yang lebih rendah, jika dibandingkan dengan metode konvensional (Kim et al., 2017). Rata-rata hasil pekerjaan operator akan dibawah *prototype* yang digunakan sebagai acuan, *prototype Master* hanya mencapai akurasi 82,1% karena diproduksi dengan mesin konvensional. Sementara *prototype 3DP* hampir mampu mencapai akurasi dimensi 100%, dari toleransi 1-1,5 mm. Sehingga *prototype Master* berpotensi memberikan informasi geometri yang tidak sesuai dan mengakibatkan kesalahan dalam pembuatan *jig and fixture*, karena pembuatannya memerlukan *prototype* fisik.

3.2 Tingkat Efisiensi *Prototype 3D Printing*

Efisiensi dihitung dengan rasio *success rate* dibagi dengan *time on task* (waktu yang digunakan untuk menyelesaikan tugas). Perbandingan efisiensi antara *prototype* yang dibuat dengan metode

konvensional dengan *3D printing* (3DP) dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4., terlihat bahwa rata-rata tingkat efisiensi pada *prototype* 3DP mencapai 0,406%/s lebih tinggi daripada *prototype* konvensional yang hanya sebesar 0,342%/s. Dimensi efisiensi berkaitan dengan kecepatan operator dalam menyelesaikan tugas. Dengan adanya *prototype* 3DP, tidak hanya membantu operator mengerjakan tugas dengan cepat, tetapi juga dengan benar, karena ada perencanaan sebelumnya atau *pre-operation planning* (Lee et al., 2018). Meski *prototype Master* memberi kesiapan pada operator sebelum mengerjakan tugas, tetapi *prototype* konvensional masih berpotensi memberikan informasi geometri yang salah sehingga mempengaruhi nilai *success rate* yang berujung mengurangi nilai dimensi efisiensi juga.



Gambar 4. Perbandingan Tingkat Efisiensi *Prototype*

3.3 Tingkat Kepuasan terhadap *Prototype 3D Printing*

Setelah menggunakan *prototype* konvensional untuk memproduksi *Wood Cap*, responden diminta untuk mengisi kuesioner *System Usability Scale* (SUS). Seperti tersaji pada Tabel 2, hasil rata-rata skor SUS sebesar 84.25. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *prototype* jenis konvensional bisa dikategorikan sebagai kategori *Excellent* dan *Acceptable*.

Tabel 2. Tingkat Kepuasan Operator terhadap *Prototype* Konvensional

No.	Responden	SUS	Peringkat
1	Responden 1	90	Best Imaginable
2	Responden 2	92,5	Best Imaginable
3	Responden 3	70	Good
4	Responden 4	87,5	Best Imaginable
5	Responden 5	85	Excellent
6	Responden 6	82,5	Excellent
7	Responden 7	82,5	Excellent
8	Responden 8	60	Good
9	Responden 9	100	Best Imaginable
10	Responden 10	92,5	Best Imaginable
	Rata-rata	84,25	

Sedangkan hasil rata-rata skor SUS untuk *prototype 3D printing* (3DP) adalah sebesar 83 seperti tersaji pada Tabel 3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *prototype 3D PLA* bisa dikategorikan sebagai kategori *Excellent* dan *Acceptable*. Antara penggunaan *prototype Master* dengan *prototype 3D PLA* memiliki tingkat kepuasan penggunaan yang relatif sama. Karena secara

kualitatif, operator masih terbiasa dengan kondisi saat ini, yaitu menggunakan prototype dari kayu yang dibentuk dengan mesin konvensional.

Tabel 3. Tingkat Kepuasan Operator terhadap *Prototype 3D Printing*

No.	Responden	SUS	Peringkat
1	Responden 1	87,5	Best Imaginable
2	Responden 2	77,5	Excellent
3	Responden 3	87,5	Best Imaginable
4	Responden 4	85	Excellent
5	Responden 5	80	Excellent
6	Responden 6	87,5	Best Imaginable
7	Responden 7	75	Excellent
8	Responden 8	82,5	Excellent
9	Responden 9	82,5	Excellent
10	Responden 10	85	Excellent
Rata-rata		83	

4. KESIMPULAN

Dengan menggunakan *prototype 3D Printing* (3DP) sebagai acuan produksi untuk operator, akan memberikan keunggulan jika dibandingkan dengan metode konvensional. Dalam hal efektivitas, rata-rata *success rate* untuk prototipe yang dibuat dengan teknologi 3DP mencapai 84,551%, lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya mencapai 74,908%. Ini menandakan bahwa tingkat akurasi dan presisi prototipe 3DP lebih tinggi, sehingga mengurangi variasi dan kesalahan yang disebabkan oleh keterampilan manual operator.

Selain itu, teknologi 3DP juga meningkatkan efisiensi produksi dengan tidak hanya membuat operator menyelesaikan tugas dengan cepat, tetapi juga menyelesaikannya dengan benar. Rata-rata tingkat efisiensi prototipe 3DP sebesar 0,406%/s, sementara dengan metode konvensional hanya mencapai 0,342%/s. Sementara untuk aspek kepuasan (*satisfaction*) tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara *prototype Master* dengan *prototype 3DP*.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan:

- a. Fokus geografis penelitian ini hanya di Jepara, sehingga hasilnya mungkin tidak dapat digeneralisasikan untuk daerah lain.
- b. Kemudian, teknologi yang digunakan dalam penelitian ini juga terbatas pada penggunaan teknologi 3DP jenis FDM dan material PLA.
- c. Penelitian ini juga hanya berfokus pada produk *wood cap* dengan desain tertentu, sehingga variasi dalam desain produk lainnya mungkin memerlukan pendekatan yang berbeda.
- d. Evaluasi Usabilitas berfokus pada beberapa dimensi seperti efektivitas, efisiensi, dan kepuasan saja.
- e. Penelitian ini juga tidak membahas secara mendalam mengenai biaya jangka panjang dari penerapan teknologi 3DP, termasuk biaya perawatan mesin, pelatihan operator, dan pembelian material.

Dengan memahami keterbatasan-keterbatasan ini, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan melibatkan sampel yang lebih besar, variasi geografis yang lebih luas, teknologi 3DP yang berbeda, serta analisis biaya yang lebih komprehensif untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan dapat digeneralisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, W., Tullis, T., & Albert, W. (2008). Measuring the *User Experience*. In *Measuring the User Experience*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373558-4.X0001-5>
- Brooke, J. (1996). SUS -A quick and dirty usability scale Usability and context. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194). https://www.researchgate.net/publication/319394819_SUS_-_a_quick_and_dirty_usability_scale
- Davda K., Osnes, C., Dillon, S., Wu, J., Paul, H., Keeling, A., 2017. An Investigation into the Trueness and Precision of Copy Denture Templates Produced by Rapid Prototyping and Conventional Means, *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, pp. 186–192. https://doi.org/10.1922/EJPRD_01716Davda07
- Gokhare, V. G., Raut, D. N., & Shinde, D. K. (2017). A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing. *IJERT Journal International Journal of Engineering Research and Technology*, 6(6). <https://www.ijert.org/research/a-review-paper-on-3d-printing-aspects-and-various-processes-used-in-the-3d-printing-IJERTV6IS060409.pdf>
- ISO 9241-11 1998,. Retrieved from <https://www.sis.se/std-611299>
- Kluska, E., Gruda, P., & Majca-Nowak, N. (2018). The Accuracy and the Printing Resolution Comparison of Different 3D Printing Technologies. *Transactions on Aerospace Research*, 2018(3). <https://doi.org/10.2478/tar-2018-0023>
- Kim, Y.C., Jeong, W.S., Park, T., Choi, J. W., Koh, K.S., Oh, T.S., 2017. The accuracy of patient specific implant prebented with 3D-printed rapid prototype model for orbital wall reconstruction, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, vol. 45, pp. 928-936. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.03.010>
- Lee, H., Nguyen, N.H., Hwang, S.I., Lee, H.J., Hong, S.K., Byun, S.-S., 2018. Personalized 3D Kidney model produced by rapid prototyping method and its usefulness in clinical applications, *Int. Braz j urol.*, vol. 44, pp. 952-957. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2018.0162>
- Nicolau, A., Pop, M. A., & Coşoreanu, C. (2022). 3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling. *Materials*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ma15082907>
- Nielsen, J., Kaufmann, M., Diego, S., Francisco, S., York, N., London, B., and Tokyo, S. (1993). Usability Engineering. Retrieved from <http://www.hbuk.co.uk>
- Özceylan, E., Çetinkaya, C., Demirel, N., & Sabırlıoğlu, O. (2017). Impacts of Additive Manufacturing on Supply Chain Flow: A Simulation Approach in Healthcare Industry. *Logistics*, 2(1). <https://doi.org/10.3390/logistics2010001>
- Sauro, J. (2012). *Benchmarks for User Experience*. <https://MeasuringU.Com/Ux-Benchmarks>.
- Shahrubudin, N., Lee, T.C., Ramlan, R., 2019. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>

