

Pengaruh Penggunaan *Prototype 3D Printing* terhadap Tingkat Pemahaman Operator di Industri Furnitur Berbasis Ekspor

Thomas Djorgie¹, Herianto Herianto², Lina Dianati Fathimahhayati³, Widyastuti Widyastuti⁴

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

thomas.djorgie@mail.ugm.ac.id¹, herianto@ugm.ac.id²

Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

linadianatif@ft.unmul.ac.id³

Universitas Muhammadiyah Gombong, Kebumen, Indonesia

widyastuti526867@mail.ugm.ac.id⁴

Abstrak— Sebuah perusahaan manufaktur berbasis ekspor menggunakan *prototype* buatan klien sebagai acuan untuk membuat *wood cap*. Ditemukan *error* dimensi sebesar 25% pada *prototype* milik klien sehingga berpotensi mengurangi performa dari operator. *3D Printing* (3DP) mampu membuat *prototype* dengan akurasi dan kepresisian yang tinggi. Sejak tahun 2022, terjadi percepatan jadwal produk masuk pasar dan penurunan harga produk juga membuat kondisi sekarang ini tidak bisa dijalankan. Pada penerapan teknologi baru, harus dilakukan evaluasi sebelum diterapkan di sistem untuk memastikan tidak ada kendala pada saat penerapan teknologi 3DP. Salah satu metode adalah dengan dilakukan uji usabilitas untuk membandingkan *prototype master* dengan *prototype 3DP*, hal ini diharapkan mampu meningkatkan performa operator dalam membuat *wood cap*. Pada penelitian ini juga membandingkan penggunaan filamen *polylactic acid* (PLA) dengan filamen PLA-kayu pada 3DP untuk mencapai tingkat usabilitas yang paling tinggi. Hasil dari penelitian menunjukkan tidak ada kendala pada sistem dengan penerapan teknologi 3DP baik menggunakan filamen PLA maupun PLA-kayu. Penggunaan *prototype 3DP* dengan PLA-kayu dipilih untuk diterapkan, karena mengungguli *prototype master* yang memakai metode konvensional, dilihat dari segi efektivitas, efisiensi, *satisfaction*, dan *learnability*, sementara penggunaan *prototype 3DP* dengan PLA hanya unggul dari segi efektivitas saja. Di samping itu penerapan 3DP mampu mengurangi waktu tahap pra produksi sebesar 1,5 bulan (8 minggu) dan menurunkan biaya pengiriman *prototype* sebesar 50%.

Kata Kunci—*3D Printing, Prototype, Tingkat Pemahaman, Usabilitas*

I. PENDAHULUAN

Industri furnitur adalah salah satu sektor utama dalam ekspor Indonesia, tidak hanya dari perusahaan besar tetapi juga dari usaha mikro, kecil, dan menega. Menurut Badan Pusat Statistik (2023), nilai ekspor furnitur mencapai 2,81 miliar USD dengan Amerika Serikat sebagai pasar terbesar. CV Kalingga Putra (KP), sebuah perusahaan manufaktur furnitur kayu di Jepara, menghasilkan berbagai produk termasuk *wood cap*, yang digunakan sebagai dekorasi penutup atas pagar rumah. Klien utamanya adalah perusahaan bahan bangunan di Tampa, Florida, Amerika Serikat. Proses pemesanan dimulai dengan pengiriman *prototype* fisik ke CV KP. Setelah *prototype* datang, CV KP akan membuat sampel *wood cap* berdasarkan *prototype* tersebut, kemudian sampel dikirim kembali kepada klien untuk memperoleh persetujuan menjalankan produksi massal.

Sejak tahun 2022 klien meminta CV KP untuk bisa membuat produk masuk pasar dua kali dalam satu tahun, dan menurunkan harga *wood cap*. Pada kondisi sekarang ini CV KP membutuhkan waktu 7,5 bulan dari mulai pengiriman *prototype* dari klien sampai produk massal sampai pada klien. Klien juga melakukan penurunan harga pada salah satu jenis *wood cap* sebesar 1 USD. Sehingga penerapan teknologi 3DP diperlukan untuk mengurangi waktu pengiriman *prototype* dan mengurangi biaya pengiriman *prototype*, untuk menghindari kerugian pada CV KP. Produk *Wood Cap* memiliki desain yang kompleks dengan toleransi dimensi yang ketat sebesar 1 – 1,5 mm, sehingga prototipe dengan tingkat variasi dimensi dan *error* yang rendah diperlukan sebagai acuan. Metode *prototyping* menggunakan *3D Printing* (3DP) memiliki tingkat akurasi dimensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional [3]. *Prototype* konvensional yang digunakan sebagai acuan produksi berpotensi untuk memberi informasi geometri yang tidak sesuai pada operator, dan hal ini mempengaruhi ketepatan jig and fixture dari mesin proses produksi, karena pembuatannya menggunakan *prototype* fisik. Dengan mengadopsi teknologi 3DP, *Computer Aided Design file* dari *prototype master* dapat dikirim secara digital dan dicetak di CV KP, mengurangi kebutuhan akan pengiriman fisik dan mempercepat proses produksi serta mengurangi biaya pengiriman *prototype* [10].

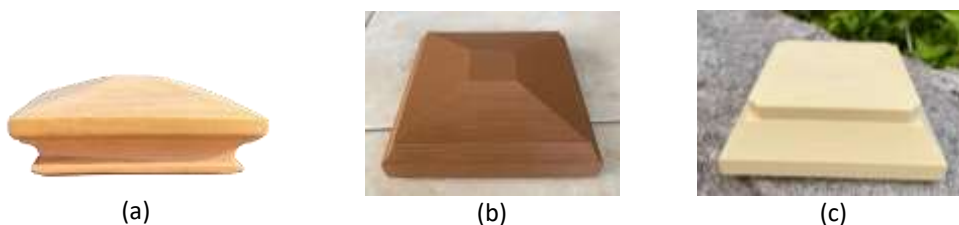
Prototype digunakan untuk memberi pemahaman operator akan desain produk, sebelum dilakukannya produksi atau disebut *pre-operation planning*. Pemahaman operator meliputi dimensi teoritis dan bentuk/feature dari benda kerja, termasuk ketepatan pembuatan jig and fixture pada proses mesin konvensional. Salah satu metode untuk mengukur tingkat pemahaman operator adalah dengan evaluasi usabilitas. Menurut ISO 9241-11 (1998), evaluasi usabilitas dilakukan pada dimensi efektivitas, efisiensi,

dan *satisfaction*. *3D printer* mampu membuat *prototype* yang mampu memberikan pemahaman yang komprehensif sebagai simulasi sebelum dilakukannya suatu tindakan yang beresiko [11]. Dengan adanya perencanaan dengan *prototype 3DP* sebelumnya, dapat meminimasi *error* dan meningkatkan akurasi dari suatu pengerjaan tugas [8].

Metode *3DP fused deposition modeling* digunakan karena biayanya rendah, praktis dan penggunaannya fleksibel [14]. Filamen *Polylactic Acid (PLA)* digunakan dalam mesin *3D printer* karena merupakan material yang umum digunakan [7]. Tidak hanya filamen *PLA* saja yang digunakan tetapi filamen *PLA-kayu* juga dipilih karena mampu menambah kekuatan tarik hasil cetakan [4] dan daya rekat antar *layer* [1], hal ini akan mendukung akurasi dimensi. Penggunaan material yang menyerupai *wood cap* asli, seperti penggunaan filamen *PLA-kayu* akan menambah kepuasan dari pengguna [11].

II. METODOLOGI

A. Subjek dan Objek Penelitian



Gambar 1. (a) *Prototype Master* (b) *Prototype 3DP PLA* (c) *Prototype 3DP PLA-kayu*

Dalam penelitian ini, data yang diambil merupakan *performance measurement* dengan minimal jumlah responden sebesar 10 orang [9], seperti pada Tabel 1. Sepuluh pengrajin kayu di Jepara dipilih berdasarkan tingkat keterampilan yang seragam menurut catatan kinerja perusahaan. Responden berjenis kelamin laki-laki dengan usia rata-rata 44 tahun dengan masa kerja rata-rata 10 tahun. Spesimen pada penelitian ini adalah tiga jenis prototipe *wood cap*: prototipe 1 dibuat secara konvensional, prototipe 2 dicetak menggunakan mesin *3D printer* dengan menggunakan filamen *Polylactic Acid (PLA)*, dan prototipe 3 dicetak menggunakan mesin yang sama dengan menggunakan filamen *PLA-kayu*, seperti yang terlihat di Gambar 1. Setiap jenis prototipe diwakilkan dengan bentuk *wood cap* yang berbeda untuk menghindari *learning effect* yang menyebabkan bias. Masing-masing pengrajin akan dihadapkan oleh ketiga jenis prototipe secara sekuensial, dengan urutan yang divariasikan. 10 pengrajin masing-masing akan membuat 5 *wood cap* dari setiap ketiga jenis prototipe, sehingga dihasilkan 150 pcs *wood cap* yang akan dievaluasi keakuratan dimensinya.

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 (SUS)</i>	≥ 5
6	<i>Focus Groups</i>	6 - 8 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>	So many (hundreds)

B. Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, dimensi usabilitas yang dianalisis meliputi efektivitas, efisiensi, *satisfaction*, dan *learnability*. Efektivitas diukur dengan *success rate*, yang menunjukkan tingkat keberhasilan dalam membuat *wood cap* berdasarkan prototipe yang digunakan. *Success rate* dihitung menggunakan Persamaan 1, yang mencerminkan persentase keberhasilan dalam menyelesaikan tugas tertentu. Jumlah tugas yang sukses dikerjakan ditunjukkan dengan variabel 'S', variabel 'P' untuk jumlah tugas yang sebagian sukses dikerjakan, kemudian '*Total Task*' menunjukkan jumlah keseluruhan tugas.

$$User's\ Success\ Rate\ (\%) = \frac{(S+(P \times 0,5))}{Total\ Task} \times 100\% \quad (1)$$

Sedangkan efisiensi dilihat dari seberapa cepat pengrajin menyelesaikan tugas menggunakan suatu sistem. Hal ini diukur dengan menghitung rasio tingkat keberhasilan (*success rate*) terhadap waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas (*time on task*), sesuai dengan Persamaan 2.

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

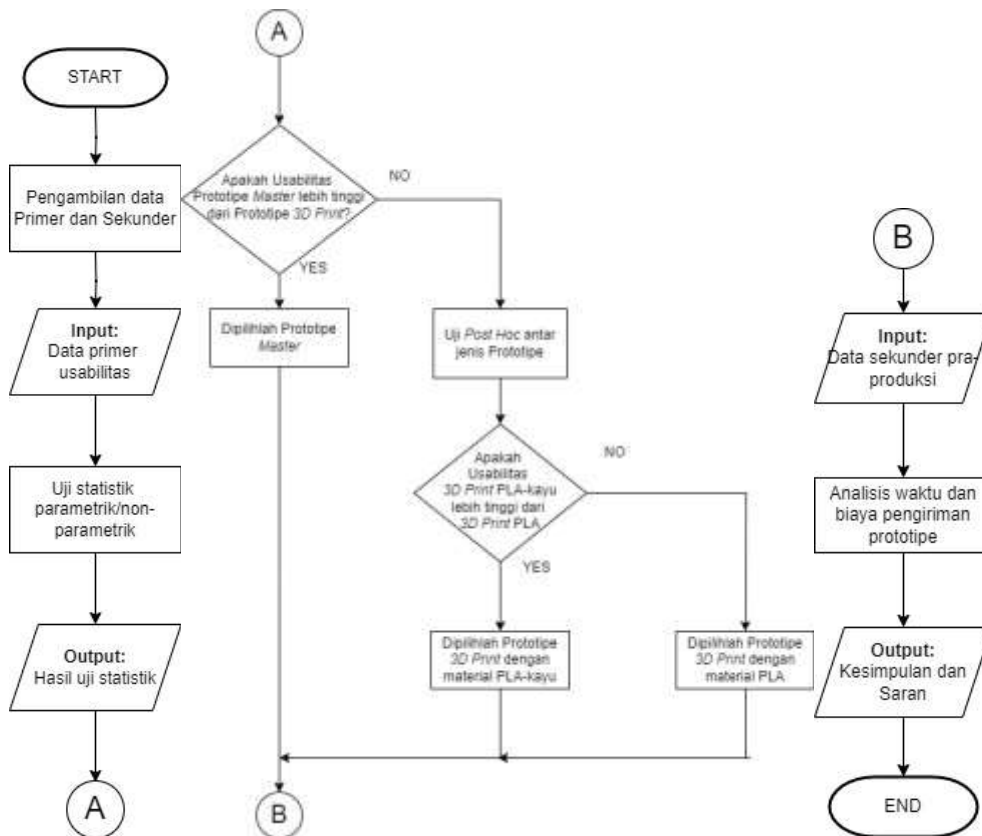
Kepuasan operator terhadap prototipe *wood cap* diukur menggunakan kuisisioner *System Usability Scale* (SUS). SUS adalah kuisisioner sepuluh *item* dengan skala Likert yang digunakan untuk menilai tingkat kepuasan terhadap usability sistem. Skor SUS dihitung dengan menjumlahkan kontribusi skor dari setiap *item*, dengan nilai akhir SUS berkisar dari 0 hingga 100. 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 [2]. Perhitungan dari hasil kuisisioner dilakukan dengan menjumlahkan skor untuk setiap *item* dengan skala 0 sampai 4. Pada *item* ganjil (1,3,5,7, dan 9) skor bernilai posisi skala Likert dikurangkan dengan angka 1, sedangkan untuk *item* genap (2,4,6,8, dan 10) skor bernilai 5 dikurangi nilai posisi skala Likert. Total penjumlahan skor dikalikan 2,5 untuk memperoleh keseluruhan skor SUS [2].

C. Tahapan Penentuan Jenis Prototipe

Sampel diambil dari populasi berjumlah 10 orang pengrajin, karena untuk *performance measurement* dibutuhkan setidaknya 10 orang [9].

1. Pengambilan data primer:
 - a. *success rate*, tingkat keakuratan dimensi *wood cap* buatan operator yang digunakan untuk mengukur efektivitas.
 - b. *Time on task*, waktu yang dibutuhkan operator untuk membuat *wood cap* sebagai perhitungan efisiensi.
 - c. *Satisfaction*, kepuasan pengguna yang dihitung dengan kuisisioner *system usability scale*.
2. Pengambilan data sekunder, data yang berkaitan dengan permasalahan perusahaan seperti waktu pengiriman *prototype* dan biaya pengiriman *prototype*.
3. Uji normalitas data pada dimensi efektivitas, efisiensi, dan *satisfaction*. Uji normalitas Shapiro-Wilk digunakan, karena data memiliki jumlah yang kurang dari 50 [12].
4. Jika data terdistribusi normal, maka dilakukan uji statistik parametrik, sebaliknya jika data tidak terdistribusi normal, maka dilakukan uji statistik non-parametrik.
5. Untuk mengetahui perbedaan antar penggunaan filamen PLA dengan PLA-kayu dalam *3D printing* (3DP), dilakukan uji Post-Hoc.
6. Jika adopsi 3DP memberikan pengaruh yang sama atau lebih baik dari kondisi saat ini, maka tidak ada kendala pada adopsi teknologi 3DP di perusahaan, dengan penerapan *prototype* 3DP, maka waktu pengiriman *prototype* dapat dipersingkat dan biaya pengiriman bisa diturunkan.

Tahapan penentuan jenis prototipe bisa dilihat pada Gambar 2.

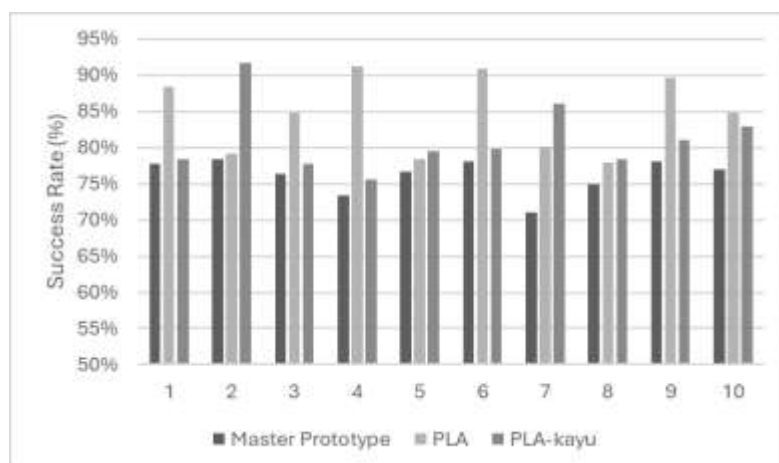


Gambar 2. Tahapan Penentuan Jenis *Prototype*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tingkat Efektivitas Penggunaan *Prototype*

Efektivitas operator diukur berdasarkan tingkat keberhasilan pekerjaan setiap operator dalam mencapai dimensi produk yang diinginkan (success rate) yang direkam menggunakan *checksheet* untuk 7 poin dimensi yang sudah ditentukan. Perbandingan efektivitas penggunaan antara *prototype master*, *prototype 3D Printing (3DP) Poly Lactic Acid (PLA)*, dan *prototype 3DP PLA-kayu*, dapat dilihat pada Gambar 3.

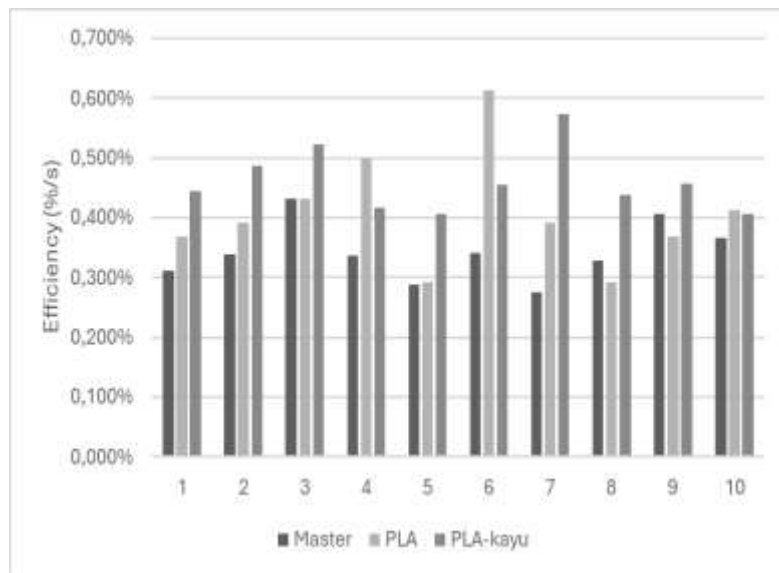


Gambar 3. Perbandingan Efektivitas *Prototype*

Berdasarkan Gambar 3., penggunaan *prototype master* memiliki nilai rata-rata efektivitas sebesar 76,186%, hal ini menunjukkan tingkat efektivitas *prototype master* masih dibawah standar usabilitas yaitu kurang dari 78% [13]. Sementara efektivitas penggunaan *prototype 3DP PLA* memiliki nilai rata-rata 84,551%. Sedangkan rata-rata nilai efektivitas penggunaan 3DP PLA-kayu sebesar 81,117%.

B. Tingkat Efisiensi Penggunaan Prototipe

Efisiensi diperoleh dengan tingkat *success rate* dibagi dengan *time on task* (waktu penyelesaian tugas). Perbandingan efisiensi penggunaan antara prototipe *master*, prototipe 3DP PLA, dan prototipe 3DP PLA-kayu, dapat dilihat pada Gambar 4.

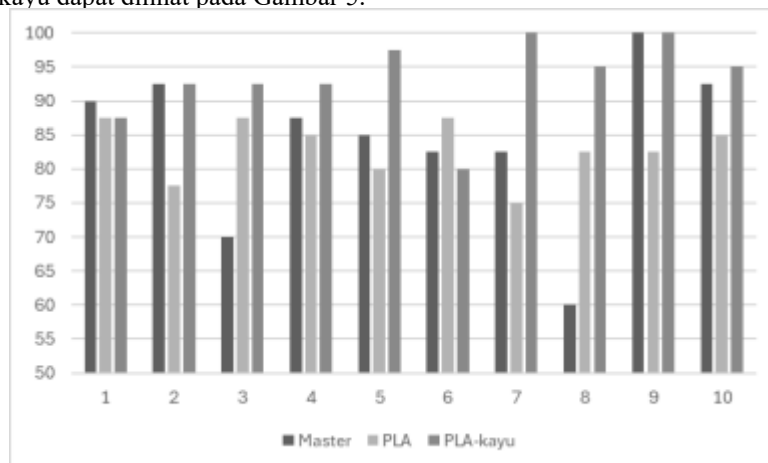


Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Prototipe

Berdasarkan Gambar 4., penggunaan *prototype master* memiliki nilai rata-rata efisiensi sebesar 0,342%/s. Sementara efisiensi penggunaan *prototype* 3DP PLA memiliki nilai rata-rata 0,406%/s. Sedangkan rata-rata nilai efisiensi penggunaan 3DP PLA-kayu sebesar 0,4607%/s.

C. Tingkat Satisfaction Penggunaan Prototipe

Operator diminta untuk mengisi kuesioner *system usability scale*, setelah menggunakan ketiga jenis prototipe untuk mengetahui tingkat *satisfaction* operator. Perbandingan tingkat *satisfaction* untuk penggunaan *prototype master*, *prototype* 3DP PLA, dan *prototype* PLA-kayu dapat dilihat pada Gambar 5.



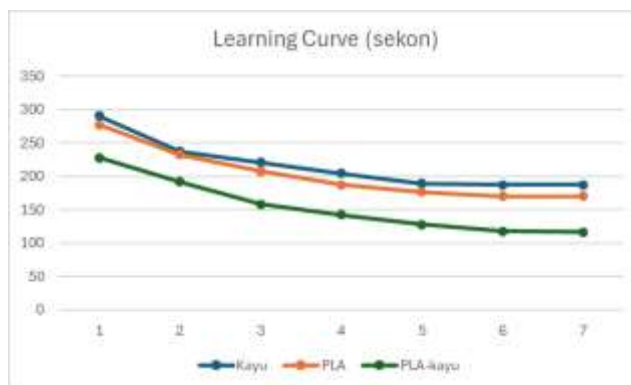
Gambar 5. Perbandingan Satisfaction Prototipe

Berdasarkan Gambar 5, bisa dilihat rata-rata tingkat *satisfaction* penggunaan *prototype master* sebesar 84,24, maka bisa dikategorikan sebagai *Excellent* dan *Acceptable*. Pada penggunaan *prototype* 3DP PLA, rata-rata tingkat *satisfaction* mencapai 83 yang bisa dikategorikan sebagai *Excellent* dan *Acceptable*. Sedangkan penggunaan *prototype* 3DP PLA-kayu bisa mencapai 93,25, maka termasuk kategori *Best Imaginable* dan *Acceptable*.

D. Analisis Learnability Penggunaan prototype

Salah satu aspek untuk mengukur usabilitas adalah Learnability [15]. Aspek learnability dianalisis dengan learning curve yang dibuat berdasarkan waktu antar iterasi, dari awal iterasi sampai sudah tidak terjadinya penurunan waktu dari pengerjaan tugas. Semua iterasi pengerjaan tugas dilakukan dengan jeda 5 menit antar iterasi di hari yang sama. Learning curve dari ketiga jenis prototype dapat dilihat pada Gambar 6. Tingkat kemiringan (slope) tertinggi ada pada prototype 3DP PLA-kayu yaitu sebesar 18,229 dan rata-rata penurunan waktu penyelesaian terbesar yaitu 109,8 sekon. Baik prototypy 3DP dengan filamen PLA dan PLA-kayu, sama-sama lebih unggul daripada prototype Master dalam aspek learnability. Hal ini dikarenakan prototype 3DP PLA-

kayu memiliki dua aspek keunggulan, yaitu memiliki keakuratan dimensi yang melebihi prototype Master, dan memiliki bentuk yang menyerupai barang asli (kayu) jika dibandingkan dengan prototype PLA. Hal ini yang membuat prototype 3DP PLA-kayu tidak hanya membuat operator benar dalam menyelesaikan tugas, tetapi juga cepat karena terbiasa dengan produk kayu.



Gambar 6 . Learning Curve dari Penggunaan Prototype

E. ANOVA pada Dimensi Effectiveness

Karena data bersifat normal, dilakukan uji statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) seperti pada Gambar 7. menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga jenis prototipe, dengan nilai *p-value* sebesar 0,001. Untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan antar jenis prototipe, dilakukan uji Post-Hoc. Berdasarkan Gambar 8., prototipe 3DP PLA dan PLA-kayu menunjukkan nilai yang signifikan lebih unggul (*p-value* < 0,05) dibandingkan dengan prototipe *master*. Penemuan ini menegaskan bahwa penggunaan prototipe 3DP memberikan informasi dimensi yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional [3], dan juga memiliki tingkat cacat yang lebih rendah daripada metode konvensional [6].

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0,03536	0,017682	9,32	0,001
Error	27	0,05124	0,001898		
Total	29	0,08661			

Gambar 7. ANOVA pada Dimensi Effectiveness

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
Master - PLA-kayu	-0,0493	0,0195	(-0,0977; -0,0010)	-2,53	0,045
PLA - PLA-kayu	0,0343	0,0195	(-0,0140; 0,0827)	1,76	0,201
PLA - Master	0,0837	0,0195	(0,0353; 0,1320)	4,29	0,001

Individual confidence level = 98,04%

Gambar 8. Post-Hoc Test pada Dimensi Effectiveness

F. ANOVA pada Dimensi Efficiency

Karena data bersifat normal, dilakukan uji statistik ANOVA seperti pada Gambar 9. menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga jenis prototipe, dengan nilai *p-value* sebesar 0,003. Untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan antar jenis prototipe, dilakukan uji Post-Hoc. Berdasarkan Gambar 10., penggunaan *prototype* 3DP PLA-kayu memiliki perbedaan signifikan dengan penggunaan *prototype master* dengan nilai *p-value* < 0,05. Sementara penggunaan *prototype* 3DP PLA tidak memiliki perbedaan signifikan dengan penggunaan *prototype master* dengan nilai *p-value* > 0,05. Penemuan ini membuktikan bahwa material yang digunakan untuk membuat prototipe mendekati barang asli (dalam hal ini produk kayu), akan menambah perencanaan [11] atau *pre-operation planning* [8] sehingga operator mampu mengerjakan tugas lebih cepat dari kondisi sekarang.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0,000007	0,000004	7,41	0,003
Error	27	0,000013	0,000000		
Total	29	0,000020			

Gambar 9. ANOVA pada Dimensi Efficiency

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
PLA - PLA-kayu	-0,000546	0,000308	(-0,001312; 0,000219)	-1,77	0,198
Master - PLA-kayu	-0,001186	0,000308	(-0,001952; -0,000420)	-3,85	0,002
Master - PLA	-0,000640	0,000308	(-0,001405; 0,000126)	-2,07	0,114

Individual confidence level = 98,04%

Gambar 10. Post-Hoc Test pada Dimensi Efficiency

G. ANOVA pada Dimensi Satisfaction

Karena data bersifat normal, dilakukan uji statistik ANOVA seperti pada Gambar 11. menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga jenis prototipe, dengan nilai *p-value* sebesar 0,015. Untuk mengidentifikasi perbedaan yang signifikan antar jenis prototipe, dilakukan uji Post-Hoc. Berdasarkan Gambar 12., *prototype master* masih mendapat skor SUS yang baik secara kualitatif karena pengrajin terbiasa dengan sistem sekarang ini, padahal tingkat efektivitasnya belum mencapai standar usability. Hal ini terlihat dari tidak adanya perbedaan yang signifikan dalam perbandingannya dengan *prototype* 3DP PLA (*p-value* >0,05). Namun, *prototype* 3DP PLA-kayu menunjukkan keunggulan yang signifikan (*p*-nilai < 0,05) jika dibandingkan dengan *prototype master*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material yang lebih mirip dengan produk asli *wood cap*, akan meningkatkan kepuasan pengguna [11]. Selain itu, rata-rata jawaban untuk *item* nomor 10 pada kuesioner SUS menunjukkan bahwa operator tidak perlu lagi mempelajari bentuk kap lampu terlebih dahulu jika menggunakan *prototype* 3DP PLA-kayu, karena prototipe ini sudah memberikan informasi yang akurat mengenai dimensi produk.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	625,4	312,71	4,90	0,015
Error	27	1723,7	63,84		
Total	29	2349,2			

Gambar 11. ANOVA pada Dimensi Satisfaction

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
PLA - Master	-1,25	3,57	(-10,12; 7,62)	-0,35	0,935
PLA-Kayu - Master	9,00	3,57	(0,13; 17,87)	2,52	0,046
PLA-Kayu - PLA	10,25	3,57	(1,38; 19,12)	2,87	0,021

Gambar 12. Post-Hoc Test pada Dimensi Satisfaction

H. Penghematan Waktu dan Biaya Pengiriman Prototipe

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, penerapan teknologi 3DP memberi peningkatan performa dalam sistem dari segi usability. Oleh karena itu, teknologi 3DP dapat diterapkan dalam sistem tanpa kendala. Hal ini dapat menjadi pertimbangan bagi klien untuk mengganti metode konvensional dengan 3DP dalam pembuatan prototipe. Dalam kondisi saat ini, proses pembuatan prototipe hingga tahap pengiriman produk massal memakan waktu sekitar 7,5 bulan (37 minggu). Namun, jika menggunakan *prototype* 3DP, waktu yang dibutuhkan dapat dipangkas menjadi 6 bulan (30 minggu). Ini karena klien hanya perlu mengirimkan *file* CAD dari *wood cap* kepada CV Kalingga Putra (KP) untuk dicetak menggunakan mesin 3D *printer*, tanpa perlu membuat dan mengirimkan *prototype* fisik seperti pada metode konvensional. Selain penghematan waktu, terdapat juga penghematan biaya pengiriman *prototype* fisik sebesar Rp 5.001.066,00 karena tidak perlu mengirimkan *prototype* fisik secara fisik dari klien ke CV KP.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian uji usability untuk penggunaan *prototype master*, *prototype* 3D Printing (3DP) Polylactic Acid (PLA), dan *prototype* 3DP PLA-kayu ditemukan tingkat efektivitas penggunaan berturut-turut sebesar dan 76,186; 84,551%; dan 81,117%; %. Kedua jenis prototipe 3DP memiliki tingkat efektivitas lebih unggul secara signifikan daripada *prototype master*. Untuk tingkat efisiensi penggunaan ketiga jenis prototipe ditemukan nilai efisiensi berturut-turut sebesar 0,342%/s; 0,406%/s; dan 0,4607%/s. Dari segi efisiensi, *prototype* 3DP PLA-kayu yang lebih unggul secara signifikan daripada prototipe *master*, sementara *prototype* 3DP PLA tidak. Dilihat berdasarkan tingkat *satisfaction*, ditemukan skor *System Usability Scale* (SUS) dari

ketiga jenis *prototype* berturut-turut sebesar 84,25; 83; dan 93,25. Secara statistik tidak ditemukan adanya perbedaan yang signifikan antara *prototype master* dengan *prototype* 3DP PLA dari segi *satisfaction*, sebaliknya dengan *prototype* 3DP PLA-kayu mampu memberikan perbedaan yang signifikan. Selanjutnya, pada aspek *learnability* tingkat kemiringan penurunan waktu penyelesaian tugas berturut-turut sebesar, 15,729; 16,95; dan 18,229. Pada aspek *learnability* kedua jenis *prototype* 3DP lebih unggul daripada *prototype* Master. *Prototype* 3DP PLA-kayu terpilih untuk diterapkan pada sistem karena lebih unggul secara signifikan daripada kondisi sekarang ini, dilihat dari segi *effectiveness*, *efficiency*, *satisfaction*, dan *learnability* sementara *prototype* 3DP PLA hanya unggul dari segi *effectiveness* dan *learnability* saja.

Pada sistem pengiriman *prototype*, CV Kalingga Putra (KP) menanggung biaya pengiriman *prototype* dari klien ke CV KP dan dari CV KP kepada klien. Dengan adanya penerapan *prototype* 3DP, klien hanya mengirimkan *file* CAD ke CV KP, tanpa harus mengirim *prototype* fisik, sehingga waktu pengiriman berkurang sebesar 1,5 bulan (8 minggu). Penerapan ini juga menghemat biaya pengiriman *prototype* senilai Rp 5.001.066,00, yaitu sebesar 50% dari kondisi saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis mengucapkan syukur atas rahmat, kesehatan, dan kelancaran yang diberikan oleh Allah SWT dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Herianto, S. T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng., selaku dosen pembimbing tesis saya, yang sudah membimbing saya dan mengajarkan banyak hal dalam proses penelitian sampai penyelesaian. Terima kasih kepada Ibu Lina Dianati Fathimahayati yang memberikan pengetahuan terkait penelitian yang mengutamakan faktor manusi, dan memberikan arahan dalam pengolahan data dan penarikan kesimpulan. Terima kasih kepada Ibu Widyastuti yang melakukan evaluasi menyeluruh terhadap redaksi penelitian dan sebagai penanggung jawab workshop tempat peneliti menggunakan mesin 3D Printer untuk membuat *prototype* wood cap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barrionuevo, G.O., Ramos-Grez, J.A., 2020. "Machine Learning for Optimizing Technological Properties of Wood Composite Filament-Timberfill Fabricated by Fused Deposition Modeling", in: Botto-Tobar, M., Zambrano Vizuete, M., Torres-Carrión, P., Montes León, S., Pizarro Vásquez, G., Durakovic, B. (Eds.), Applied Technologies, Communications in Computer and Information Science. Springer International Publishing, Cham, pp. 119–132. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42520-3_10
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] Gardan, J., Nguyen, D.C., Roucoules, L., Montay, G., 2016. "Characterization of Wood Filament in Additive Deposition to Study the Mechanical Behavior of Reconstituted Wood Products". Journal of Engineered Fibers and Fabrics 11, 155892501601100. <https://doi.org/10.1177/155892501601100408>
- [5] ISO 9241-11 1998., Retrieved from <https://www.sis.se/std-611299>
- [6] Kim, Y.C., Jeong, W.S., Park, T., Choi, J.W., Koh, K.S., Oh, T.S., 2017. "The accuracy of patient specific implant prebent with 3D-printed rapid prototype model for orbital wall reconstruction". Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery 45, 928–936. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.03.010>
- [7] 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>
- [8] 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. 44, 952–957. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2018.0162>
- [9] 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/>
- [10] Özceylan, E., Çetinkaya, C., Demirel, N., Sabırhoğlu, 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>
- [11] Porpiglia, F., Bertolo, R., Checcucci, E., Amparore, D., Autorino, R., Dasgupta, P., Wiklund, P., Tewari, A., Liatsikos, E., Fiori, C., 2018. "Development and validation of 3D printed virtual models for robot-assisted radical prostatectomy and partial nephrectomy: urologists' and patients' perception". World J Urol 36, 201–207. <https://doi.org/10.1007/s00345-017-2126-1>
- [12] azali, N. M., and Wah, Y. B., 2011, "Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests", Journal of Statistical Modeling and Analytics, vol. 2, no. 1. R
- [13] auro, J., 2012, "10 Benchmarks for User Experience Metrics", <https://measuringu.com/ux-benchmarks>, online accessed on 18 May 2024. S
- [14] hahrubudin, N., Lee, T.C., Ramlan, R., 2019. "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications". Procedia Manufacturing 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089> S
- [15] ullis, T., Albert, B., 2008, "Measuring the User Experience". T