



PAPER – **OPEN ACCESS**

Perancangan Ulang Alat Pultrusi Sebagai Sumber Filamen pada 3D Printing Menggunakan Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Author : Oswaldo B Siburian, et al
DOI : 10.32734/ee.v9i2.2776
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 9 Issue 2 – 2026 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Perancangan Ulang Alat Pultrusi Sebagai Sumber Filamen pada 3D Printing Menggunakan Metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA)

Oswaldo B. Siburian^{a*}, Samuel N. Simbolon, Abdurrahman A. Nasution, Hafizal A. G. K. Parinduri^b, Dinda Karina^c

^aProgram Studi Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Jl. Dr. T. Mansyur No 9, Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia

^bKota Deltamas Lot-A1 CBD, Jl. Ganesha Boulevard No.1, Pasirranji, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530

^cKampus Utama Bukit Indah, Jl. Irian No.01, Blang Pulo, Kec. Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh

oswaldoaldo31@gmail.com, samuelnajogisimbolon137@gmail.com, abdurrahman13rahmana@gmail.com, parindurihafizal8@gmail.com, dinda.230110205@mhs.unimal.ac.id

Abstrak

Pada era globalisasi saat ini, inovasi produk dituntut memiliki daya saing tinggi agar mampu unggul dibandingkan produk sejenis. Pengembangan mesin produksi yang hemat biaya adalah salah satu upaya yang dapat dilakukan. Alat pultrusi digunakan dalam proses manufaktur filamen untuk 3D printing. Namun, desain konvensional masih memiliki banyak komponen dan biaya produksi yang tinggi. Untuk mempersederhanakan desain, mengurangi jumlah komponen, dan mengurangi biaya produksi, penelitian ini mengkaji perancangan ulang alat pultrusi yang menggunakan metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan DFMA berhasil menurunkan biaya produksi dari Rp1.703.000 menjadi Rp912.000, atau sebesar 46,45%. Selain itu, waktu produksi filamen berkurang dari 60 menit menjadi 50 menit, sistem kontrol menjadi lebih terintegrasi, serta kualitas penarikan filamen menjadi lebih stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe usulan mampu menghasilkan filamen yang lebih seragam dan mudah dioperasikan. Dengan demikian, desain usulan lebih efisien dari aspek biaya, manufaktur, dan kemudahan perakitan.

Kata Kunci: *design for manufacturing and assembly; perancangan; pultrusi; 3D printing*

Abstract

A pultrusion machine is used in the production of 3D printing filament; however, conventional designs often have high production costs and complex assembly processes. This study aims to redesign a pultrusion machine using the *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) method to simplify the design and reduce production costs. The results show that DFMA reduced production costs from IDR 1,703,000 to IDR 912,000, a reduction of 46.45%, and shortened production time from 60 to 50 minutes. The redesigned prototype also provides a more integrated control system and improved filament pulling stability. These findings indicate that DFMA effectively improves the manufacturability, assembly efficiency, and overall performance of the pultrusion machine.

Keywords: *design for manufacturing and assembly; design; pultrusion; 3D printing*

1. Introduction

Plastik banyak digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman karena ringan, kuat, dan mudah dibawa dan digunakan, sehingga sangat penting untuk kehidupan sehari-hari [1]. Plastik *polyethylene terephthalate* (PET) adalah jenis plastik yang paling umum digunakan [2]. Plastik jenis PET memiliki banyak keunggulan, seperti kemampuan untuk didaur ulang untuk digunakan dalam berbagai produk berharga, seperti wadah, mainan, furnitur, souvenir, dan filamen. Namun, banyaknya keunggulan ini membuat plastik PET semakin digunakan, dan pada akhirnya, limbahnya sulit terurai secara alami [3].

Alat pultrusi merupakan perangkat yang digunakan untuk memproduksi filamen dengan diameter yang lebih seragam. Prinsip kerjanya memanfaatkan nozel dengan lubang khusus yang memungkinkan proses pembentukan filamen. Lembaran plastik dipanaskan terlebih dahulu pada blok pemanas, kemudian dibentuk menjadi filamen saat melewati nozel tersebut [4]. Alat ini menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali kecepatan penggulungan filamen dan suhu pemanas. Mikrokontroler memproses sinyal dari berbagai komponen sehingga pengoperasian alat menjadi lebih mudah dan terintegrasi [6]. 3D printer (*additive manufacturing*) merupakan teknologi manufaktur yang digunakan untuk menghasilkan objek tiga dimensi berdasarkan desain digital. Proses pencetakannya menggunakan bahan baku berupa filamen, seperti *polylactic acid* (PLA), yang memiliki sifat kuat dan kaku sehingga cocok untuk berbagai aplikasi [7].

Inovasi produk yang lebih baik harus selalu berusaha menjadi yang terbaik dibandingkan produk lain di era globalisasi saat ini [8]. Desain produk yang tidak efektif dapat menyebabkan biaya produksi dan perakitan yang lebih tinggi serta menurunkan keandalan produk [9]. Dengan menggunakan jumlah komponen yang minimal dan bentuk yang sederhana, desain produk yang efektif tidak mengurangi fungsi dan kinerja utamanya. Untuk membuat produk yang kompetitif, desain produk harus dipikirkan secara menyeluruh sejak awal [10]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi desain adalah *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) [11]. Metode DFMA digunakan untuk mengoptimalkan desain produk sejak tahap konsep dan membuat produksi menjadi lebih mudah. Metode ini mencakup standarisasi penggunaan komponen, penghapusan komponen yang tidak diperlukan, integrasi beberapa komponen menjadi satu kesatuan, dan penggunaan metode perakitan yang sederhana. Produk yang dibuat melalui prosedur ini tidak hanya lebih mudah diproduksi, tetapi juga menggunakan bahan yang lebih sedikit, memiliki kualitas yang lebih baik, dan diproduksi dengan biaya yang lebih rendah [8].

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) pada pengembangan berbagai produk manufaktur, seperti alat kesehatan, mesin mini CNC, dan alat bantu produksi. Namun, penerapan DFMA pada alat pultrusi untuk produksi filamen dari limbah plastik PET masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada performa proses ekstrusi dan kualitas filamen, sedangkan aspek penyederhanaan desain, efisiensi perakitan, dan pengurangan biaya produksi belum banyak dikaji secara mendalam.

Di sisi lain, penggunaan alat pultrusi konvensional masih menghadapi beberapa kendala, seperti tingginya biaya produksi, penggunaan komponen yang kurang efisien, serta keterbatasan mobilitas dan fleksibilitas alat. Selain itu, sistem pemanas dan pengendalian proses yang belum optimal dapat memengaruhi kualitas filamen yang dihasilkan, baik dari segi kekuatan maupun keseragaman diameter filamen. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan desain alat pultrusi yang lebih efisien, ekonomis, dan mudah dioperasikan dengan menerapkan metode DFMA. Pengembangan dilakukan melalui optimalisasi penggunaan komponen, penyederhanaan proses perakitan, penerapan sistem pemanas yang lebih efektif, serta integrasi sistem kontrol yang lebih praktis. Kontribusi utama penelitian ini adalah menghasilkan desain alat pultrusi dengan jumlah komponen yang lebih sedikit, biaya produksi yang lebih rendah, sistem kontrol yang lebih terintegrasi, mendukung konsep *circular economy* dan *sustainable additive manufacturing*.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian mencakup berbagai sumber data yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian, yang diperoleh dari literatur seperti buku, jurnal, serta mengacu pada spesifikasi produk yang sudah ada sebelumnya [10]. Penelitian ini menggunakan sejumlah variabel sebagai faktor yang memiliki nilai dan perubahan tertentu untuk dianalisis sehingga dapat diperoleh kesimpulan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi efisiensi biaya atau harga dan jumlah komponen [12].

2.1. Pengumpulan Data

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah melakukan pengumpulan data yang meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan mencakup daftar bahan baku serta data harga bahan baku. Sementara itu, data sekunder berupa konsep produk referensi dan konsep produk hasil pengembangan, yang diperoleh dari studi pendahuluan terkait pengembangan konsep produk [11].

2.2. Parameter Pengujian

Pengujian alat dilakukan menggunakan beberapa parameter utama yaitu suhu pemanasan ($^{\circ}\text{C}$), kecepatan putaran motor (rpm), lebar sayatan (mm), panjang filamen yang dihasilkan (cm), waktu produksi (menit) dan diameter filamen (mm). Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten dan mengurangi kesalahan pengukuran [11].

2.3. Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Studi ini menggunakan pendekatan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), yang merupakan pendekatan perancangan yang bertujuan untuk membuat desain produk menjadi lebih mudah untuk diproduksi dan dirakit. Metode ini dapat mengurangi biaya dan waktu produksi, meningkatkan efisiensi proses, dan mengurangi kemungkinan masalah kualitas. Secara umum, DFMA terdiri dari dua pendekatan utama yaitu *Design for Assembly* (DFA) dan *Design for Manufacturing* (DFM) [9].

Design for Assembly (DFA) berfokus pada penyederhanaan produk dengan mengurangi jumlah komponen dan langkah-langkah yang diperlukan untuk menyelesaikannya, sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya proses perakitan. Sementara itu, *Design for Manufacturing* (DFM) adalah metode integrasi dalam pengembangan produk yang memanfaatkan berbagai informasi, seperti sketsa, gambar, spesifikasi produk, dan alternatif desain. DFM bertujuan untuk menyederhanakan proses manufaktur dengan mempertimbangkan pemilihan material, bentuk produk, proses produksi, serta aspek kemudahan pembuatan dan keselamatan kerja [13]. Menggabungkan kedua metode tersebut dalam metode DFMA memungkinkan produksi, rancangan, dan biaya produk yang lebih efisien. [14].

2.4. Tahapan Metode DFMA

Metode DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) diawali dengan identifikasi kebutuhan dan spesifikasi alat, kemudian dilanjutkan dengan penentuan komponen untuk menghasilkan desain yang sederhana, efisien, dan mudah diproduksi. Selanjutnya dilakukan perancangan model 3D dengan menerapkan prinsip DFM, seperti pengurangan jumlah komponen, pemilihan material yang ekonomis, dan kemudahan perakitan. Tahap berikutnya meliputi pembuatan prototipe, pengujian kinerja alat, serta penyempurnaan desain berdasarkan hasil evaluasi. Penerapan metode ini bertujuan menghasilkan alat yang lebih efisien, mudah digunakan, dan berkualitas optimal [15].

2.5. Validasi Eksperimental

Validasi dilakukan dengan membandingkan performa prototipe awal dan prototipe hasil pengembangan DFMA. Indikator yang digunakan meliputi biaya produksi, waktu produksi, stabilitas penarikan filamen, kemudahan pengoperasian, dan kualitas filamen yang dihasilkan. Hasil pengujian digunakan untuk memastikan bahwa desain usulan memberikan peningkatan performa dibandingkan desain awal [16].

Flowchart tahapan penelitian menggunakan metode DFMA dapat dilihat pada Gambar 1.

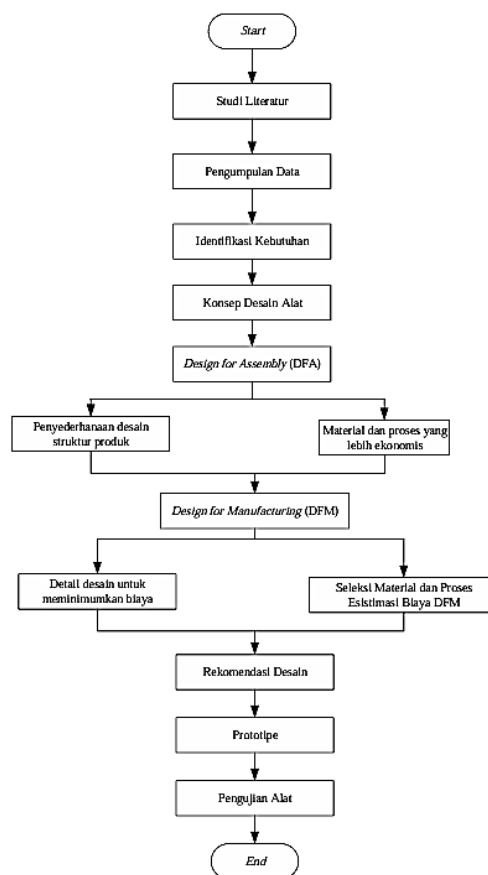
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan Data Produk

Pengumpulan data produk untuk menentukan spesifikasi alat berdasarkan bahan yang digunakan untuk memastikan desain yang sederhana, efisien, dan mudah diproduksi.

3.2. Desain Alat

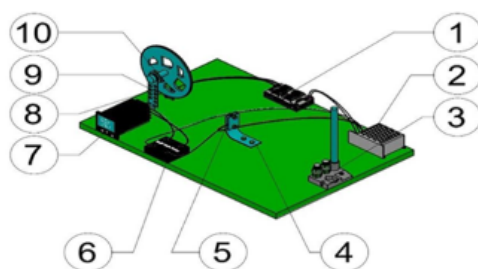
Setelah data tentang kebutuhan dan keinginan pelanggan dikumpulkan, desain alat dapat dirancang. Untuk menentukan kebutuhan bahan baku produk, desain konseptual produk awal dan produk hasil pengembangan digunakan sebagai dasar implementasi DFM. Prinsip DFM diterapkan pada tahap desain alat dengan meminimalkan jumlah komponen, memilih material yang ekonomis, dan memastikan bahwa produk mudah dipasang dan dioperasikan. Tujuan dari perencanaan ulang ini adalah untuk membuat alat yang lebih murah dan mudah digunakan tanpa mengurangi kualitasnya. Metode DFMA digunakan dalam perancangan alat pultrusi untuk meningkatkan efisiensi biaya dan produksi, dengan ukuran yang tidak terlalu besar dan kuat, penggantian dan perawatan komponen yang mudah, penggunaan yang lebih efisien, dan biaya produksi yang terjangkau. Gambar 2 dan 3 menunjukkan gambar desain 3D alat pultrusi awal dan setelah penerapan DFMA..



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian DFMA

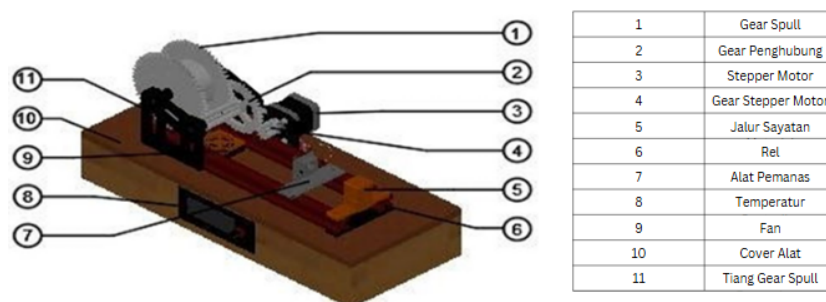
Tabel 1. Daftar Komponen Alat Pultrusi

No.	Alat	Keterangan
1.	<i>Gear Spull</i> Penggulung	Sebagai penggulung filamen
2.	<i>Gear</i> Penghubung	Sebagai penarik filamen
3.	<i>Stepper Motor</i>	Sebagai penggerak atau penarikan
4.	<i>Temperatur Controller</i>	Sebagai pemanas untuk melelehkan bahan baku filamen
5.	Pengontrol Suhu dan Gerak	Sebagai pengatur panas sesuai kebutuhan dan menggerakkan <i>Stepper Motor</i>
6.	Adaptor	Sebagai kontrol perubah tegangan
7.	<i>Nozzel</i>	Ukuran perlu disesuaikan untuk menghasilkan filamen diameter 1,75 mm
8.	Alat Pemanas	Sebagai pemanas untuk melelehkan bahan baku filamen
9.	<i>Controller Board</i>	Sebagai pemrogram putaran motor



1	Arduino uno
2	Inverter
3	Pet cutter
4	Dudukan alat pemanas
5	Alat pemanas
6	Solid State Relay
7	Termometer controller
8	Gear Spull
9	Gear penggerak
10	Motor Stepper

Gambar 2. Desain 3D Awal Alat Pultrusi



Gambar 3. Gambar 3D Alat Pultrusi Setelah Peneran DFA

Hasil Perbandingan antara desain konseptual awal dan setelah penerapan metode DFA yaitu alat sudah di *assembly* menjadi satu, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Desain Alat Pltrusi Awal dan Setelah Penerapan DFA

No.	Hasil	Awal	Penerapan DFA
1.	Bentuk Alat	Bentuk masih rumit untuk di operasionalkan	Bentuk lebih sederhana dan mudah digunakan
2.	Kontrol suhu dan rpm	Pengendalian suhu dan RPM masih terpisah; suhu menggunakan temperature controller dan SSR, sedangkan RPM memerlukan <i>software Candle</i>	Pengaturan suhu dan RPM kini lebih praktis dengan display dan potensiometer tanpa memerlukan perangkat lunak tambahan
3.	Kekuatan penarikan filamen	Penarikan sering terhenti karena beban penarikan bahan baku yang cukup berat, serta belum adanya perhitungan rasio gear	Kekuatan penarikan yang lebih besar melalui penambahan sistem transmisi gear serta perhitungan rasio gear yang lebih terukur
4.	Instalasi komponen dan kabel	Peletakan komponen dan instalasi perkabelan masih belum tertata dengan baik	Instalasi komponen dan perkabelan telah dibuat lebih rapi dan sederhana

3.3. Biaya Pembuatan

Perhitungan biaya bahan baku mencakup semua material yang digunakan untuk membuat rangka dan komponen alat dari alat pultrusi awal dan setelah penerapan DFMA.

Tabel 3. Biaya Awal Pembuatan Alat Pultrusi

No	Alat	Jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)
1.	Gear Spull Penggulung	1	35.000	35.000
2.	Gear Penghubung	1	25.000	25.000
3.	Stepper Motor	1	145.000	145.000
4.	Gear Stepper Motor	1	15.000	15.000
5.	Thermistor	1	25.000	25.000
6.	Heater	1	55.000	55.000
7.	Heat block	1	20.000	20.000
8.	Dudukan heater	1	35.000	35.000
9.	Dudukan gear	2	35.000	70.000
10.	Adaptor	1	150.000	150.000
12.	Kabel Jumper	3	18.000	54.000
14.	Kabel YNAF 0.75mm	10	22.000	220.000
15.	Mur dan Baut	70	-	70.000
17.	Mata Bor 1,75	1	60.000	60.000
18.	Mata Gerinda	3	3.000	9.000
19.	Plat Strip 10 x 30mm	1	220.000	220.000
20.	Relay 12 V	1	120.000	120.000
21.	Papan (alas komponen)	1	80.000	80.000
22.	Arduino	1	120.000	120.000

No	Alat	Jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)
23.	Power supply 10 A 12 V	1	85.000	85.000
24.	Cat kaleng 1 kg	1	65.000	65.000
25.	Tiner kaleng 1 liter	1	25.000	25.000
Total				Rp 1.703.000

Tabel 3 menunjukkan rincian biaya yang diperlukan dalam proses pembuatan alat pultrusi adalah Rp 1.703.000. Setelah itu perhitungan biaya dengan mempertimbangkan perubahan desain yang telah diterapkan berdasarkan pendekatan DFMA, seperti pengurangan jumlah komponen, penggunaan material yang lebih efisien, serta penyederhanaan bentuk desain.

Tabel 4. Biaya Pembuatan Alat Pultrusi setelah Penerapan DFMA

No	Alat	Jumlah	Harga (Rp)	Total (Rp)
1.	<i>Gear Spull</i> Pengguling	1	35.000	35.000
2.	<i>Gear</i> Penghubung	1	25.000	25.000
3.	<i>Stepper Motor</i>	1	80.000	80.000
4.	<i>Gear Stepper Motor</i>	1	15.000	15.000
5.	Thermistor	1	25.000	25.000
6.	Rel	2	15.000	30.000
7.	<i>Heater</i>	1	18.000	18.000
8.	<i>Heat block</i>	1	20.000	20.000
9.	Dudukan <i>heater</i>	1	35.000	35.000
10.	Dudukan <i>gear</i>	2	20.000	40.000
11.	Display Potensio Meter	1	180.000	180.000
12.	Adaptor	1	150.000	150.000
13.	Akrilik	1	150.000	150.000
14.	Engsel	2	10.000	20.000
15.	Mur dan Baut	45	-	55.000
16.	Mata Bor 1,75	1	25.000	25.000
17.	Mata Gerinda	3	3.000	9.000
Total				Rp. 912.000

Alat pultrusi, produk awal, memiliki biaya produksi sebesar Rp 1.703.000, sementara produk hasil pengembangan memiliki biaya produksi per unit sebesar Rp 912.000, sehingga biaya total komponen turun sebesar Rp 791.000 berkat perubahan tersebut. Selama proses pengembangan alat pultrusi, beberapa perubahan terjadi, termasuk perubahan pada jenis bahan baku komponen dan jumlah komponen, yang menghasilkan penurunan biaya produksi per unit. Dengan mengubah jumlah bahan baku dan mengurangi waktu perakitan setiap bagian, pengembangan alat pultrusi ini dapat menurunkan biaya perakitan. Hal ini menunjukkan bahwa desain produk yang secara fungsional unggul dan pada saat yang sama dapat diproduksi dengan biaya minimum.

3.4. Prototipe



Prototipe 1

Prototipe 2

Gambar 4. Protoipe Alat Pultrusi Awal (Prototipe 1) dan Setelah Penerapan DFA (Prototipe 2)

Pada prototipe 1, konfigurasi komponen masih bersifat *semi-assembly*, di mana penataan antar bagian belum terintegrasi dengan baik. Hal ini terlihat dari posisi *stepper motor* yang masih berada dekat dengan spul penggulung serta tata letak kabel dan komponen elektronik yang kurang rapi. Selain itu,udukan alat pemanas pada prototipe ini masih sederhana sehingga kestabilannya belum optimal dalam menjaga posisi tetap tegak, yang berdampak pada jalur penarikan filamen yang kurang lurus dan berpotensi memengaruhi kualitas hasil. Sedangkan pada prototipe 2 telah mengalami penyempurnaan desain dengan pendekatan yang lebih terintegrasi dan modular. Dudukan alat pemanas dirancang lebih kokoh dan memiliki ketinggian yang telah disesuaikan, sehingga mampu menjaga posisi tetap stabil serta menghasilkan jalur penarikan filamen yang lebih lurus menuju spul penggulung. Selain itu, pemindahan posisi *stepper motor* ke luar sistem spul memberikan ruang kerja yang lebih luas dan mengurangi beban langsung pada mekanisme penggulung, sehingga putaran menjadi lebih stabil. Peningkatan juga terlihat pada penambahan sistem transmisi gear antara *stepper motor* dan spul, yang memungkinkan peningkatan torsi sehingga alat mampu menarik bahan baku yang lebih berat tanpa mengalami penurunan performa.

3.5. Hasil Pengujian Alat

Hasil pengujian alat adalah fase pengembangan produk yang bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang dirancang memenuhi kebutuhan dan spesifikasi yang ditetapkan. Sebelum memulai proses pembuatan filamen dengan printer 3D, material botol bekas disayat untuk menghasilkan pita dengan panjang dan lebar tertentu. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian alat untuk kedua prototipe.

Tabel 5. Hasil Pengujian Alat

Analisis	Awal	Penerapan DFMA
Lebar sayatan/suhu	10 mm	14 mm
Panjang bahan baku sayatan	33 cm	20 cm
Panjang hasil filamen	115 cm	106 cm
Suhu	185 °C	100 °C
Waktu produksi	60 menit	50 menit

Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe hasil penerapan DFMA mampu menghasilkan filamen dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan prototipe awal. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan suhu operasi dari 185°C menjadi 100°C serta berkurangnya waktu produksi dari 60 menit menjadi 50 menit atau mengalami peningkatan efisiensi sebesar 16,67%. Sistem transmisi *gear* yang lebih optimal menghasilkan kecepatan penarikan yang lebih stabil sehingga filamen yang dihasilkan memiliki bentuk yang lebih seragam. Konsistensi diameter filamen merupakan faktor penting dalam proses 3D *printing* karena memengaruhi kelancaran proses pencetakan dan kualitas produk akhir. Pada prototipe usulan, jalur penarikan filamen yang lebih lurus serta kestabilan posisi pemanas membantu mengurangi fluktuasi diameter filamen selama proses produksi.

Selain itu, penggunaan sistem kontrol terintegrasi melalui *display* dan potensiometer meningkatkan kemudahan pengoperasian alat serta memungkinkan pengaturan parameter proses secara lebih akurat. Dari segi biaya produksi, penerapan DFMA mampu mengurangi biaya dari Rp1.703.000 menjadi Rp912.000 atau sebesar 46,45%. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan DFMA tidak hanya menurunkan biaya produksi tetapi juga meningkatkan performa teknis alat secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Penerapan pendekatan *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) pada pengembangan alat pultrusi filamen 3D *printing* berhasil mencapai tujuan perancangan yang lebih efisien baik dari aspek manufaktur maupun perakitan. Prototipe 2 merupakan desain yang diusulkan menunjukkan peningkatan efisiensi dibandingkan dengan prototipe awal (prototipe 1), yang ditandai dengan penyederhanaan struktur dan pengurangan jumlah komponen. Hasilnya adalah alat pultrusi yang lebih efisien dan lebih mudah digunakan. Perbaikan ini meliputi perancangan dudukan alat pemanas yang lebih kokoh dan stabil, pemindahan posisi *stepper motor* ke luar sistem spul penggulung untuk meningkatkan kestabilan, serta penambahan sistem transmisi *gear* yang mampu meningkatkan torsi tanpa perlu penggunaan motor dengan spesifikasi lebih tinggi. Selain itu, prototipe 2 juga dilengkapi dengan sistem kontrol mandiri berupa potensiometer dan display, sehingga alat dapat dioperasikan tanpa bantuan *software* eksternal.

Penerapan metode *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) berhasil menghasilkan desain alat pultrusion yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah dirakit. Jumlah komponen berhasil dikurangi melalui integrasi fungsi dan penyederhanaan desain sehingga biaya produksi turun dari Rp1.703.000 menjadi Rp912.000 atau sebesar 46,45%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe hasil pengembangan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan desain awal, ditunjukkan oleh penurunan waktu produksi sebesar 16,67%, sistem kontrol yang lebih terintegrasi, serta kestabilan proses penarikan filamen yang lebih baik.

Dengan demikian, metode DFMA terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi manufaktur dan kualitas alat pultrusion sebagai sumber filamen untuk 3D *printing*.

References

- [1] Muhammad Taufik, Gita Suryani Lubis, and Muhammad Ivanto, "Rancang Bangun Mesin Pultrusion Pembuat Filamen 3D Printing Berbasis Limbah Plastik Botol PET," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [2] Mochtar Asroni, Soeparno Djiwo, and Eko Yohanes Setyawan, "Pengaruh Model Pisau Pada Mesin Sampah Botol Plastik," *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-Solid)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2018.
- [3] Nurhenu Karuniastuti, "Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan," *Swara Patra: Majalah Pusdiklat Miga*, vol. 3, no. 1, pp. 6–14, 2013.
- [4] Nisa Permata Suci, Siti Janiroh, and Nurhaliz, "Pengembangan Kreatifitas Masyarakat Dengan Mendaurl Ulang Sampah Plastik," *Jurnal UMM*, pp. 1–4, 2021.
- [5] Hanafi, Ivan Sujana, and Romario Wicaksono, "Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate Untuk Menghasilkan Filamen 3D Printing," *Jurnal teknologi Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [6] Kirill Minchenkov, Alexander Vedernikov, Alexander Safonov, and Iskander Akhatov, "Thermoplastic Pultrusion: A Review," *Polymers*, vol. 13, no. 2, pp. 1–36, 2021.
- [7] V. Mirón, S. Ferrándiz, D. Juárez, and A. Mengual, "Manufacturing and Characterization of 3D Printer Filament Using Tailoring Materials," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, no. 1, pp. 888–894, 2017.
- [8] Rus Indiyanto and Dwi Sukma Donoriyanto, "Perancangan Pendeteksi Banjir Pada Tempat Sampah dengan Metode Design For Manufacturing and Assembly (DFMA)," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [9] M. Arif Munanda and Teuku Yasvi, "Perancangan Keran Air Otomatis Dengan Pelampung Vertikal Dengan Metode Design For Manufacturing And Assembly (DFMA)," *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, vol. 8, no. 2, pp. 44–46, 2020.
- [10] Mochamad Syaiful Andreansyah Eka Putra, Ahmad Anas Arifin, and Desmas Arifianto Patriawan, "Evaluasi Rancangan Mesin Lathe Mini Dengan Metode Design For Manufacture and Assembly (DFMA)," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [11] Rakhma Oktavina, "Desain Proses Manufaktur Pada Perancangan Ulang Produk Meja Makan," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 27, no. 1, pp. 85–93, 2022.
- [12] Premadi R Putra and Tranggono, "Perancangan Alat Tambal Ban Dengan Menggunakan Metode Design For Manufacturing And Assembly (DFMA)," *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 61–72, 2023.
- [13] Andrew, Putu Dana Karningsih, Dyah Santhi Dewi, and I Made Londen Batan, "Redesigning Medical Devices with Design for Manufacturing and Assembly (DFMA): Redesain Alat Terapi Kesehatan dengan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 27, no. 1, pp. 1–14, 2026.
- [14] Maulana Rizqi Mahendra and Ahmad Anas Arifin, "Perancangan dan Pengembangan Produk Mesin CNC Mini 3 Axis dengan Metode Quality Function Development (QFD)," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III (SENASTITAN III)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [15] Candris Sitompul, Muhammad Hanif Aldhiansyah, Irfan Akmal Irawan, and Nur Islahudin, "Perancangan Alat Press Baglog Jamur Dengan Pendekatan Design For Manufacture (DFM) di UMKM Omah Jamur Ungaran," *Journal of Industrial Engineering Scientific Journal on Research and Application of Industrial System*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2025.
- [16] Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., & Hui, D., "Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 143, pp. 172–196, 2018.