REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

REKAYASA 19(1): 2026 pp.224-235
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Peningkatan Kualitas Produk Cetak 3D melalui Integrasi Autoresume dan Pemantauan Suhu pada Mesin Double Vertical Frame

Didin Zakariya Lubis [1*], M. Ihwanudin [2] Muhammad Ilman Nur Sasongko [3], Miftakhul Huda [4], Farhan Ardi Prayoga [5], dan Abdah Fikri Hamdani [6]

[1,2,3,4,5,6] Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang, Indonesia
*email: didin.zakariya.ft@um.ac.id

DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v19i1.31307
Submitted July, 31st 2025, Accepted November, 30th 2025, Published June, 26th 2026

Abstrak

Salah satu permasalahan utama dalam proses pencetakan menggunakan 3D printer adalah terjadinya gangguan listrik secara mendadak dan ketidakstabilan suhu pada nozzle yang dapat mengakibatkan kegagalan proses cetak serta penurunan kualitas dimensi dan permukaan produk. Kondisi tersebut menyebabkan pemborosan material, waktu produksi yang lebih panjang, serta hasil cetak yang tidak konsisten dan sulit direplikasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang serta mengintegrasikan sistem autoresume dan sensor suhu berbasis thermistor pada mesin 3D Printer Double Vertical Frame guna meningkatkan kontinuitas proses dan mutu hasil cetakan, khususnya pada pencetakan berskala panjang. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D), yang meliputi tahap observasi, studi literatur, perancangan, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsional, serta analisis data secara kuantitatif. Proses pengujian dilakukan pada tiga variasi gangguan daya (10, 15, dan 30 menit) serta tiga kondisi pengaturan suhu nozzle (190 °C, 210 °C, dan 260 °C) menggunakan material filamen PLA sebagai spesimen uji standar. Berdasarkan hasil pengujian, bahwa sistem autoresume mampu melanjutkan proses pencetakan secara otomatis tanpa menyebabkan pergeseran layer maupun cacat struktural yang berarti. Suhu optimal diperoleh pada 210 °C dengan kualitas permukaan yang baik, kuat, dan penyimpangan dimensi yang rendah. Suhu 190 °C menghasilkan adhesi antar lapisan kurang optimal, sedangkan pada suhu 260 °C menyebabkan over-extrusion dan penurunan akurasi dimensi. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberhasilan pencetakan terhadap gangguan eksternal.

Kata kunci: Printer 3D, autoresume, sensor suhu, kegagalan daya, double vertical frame

Enhancing 3D Printing Productivity with Autoresume and Integrated Temperature Sensors on a Dual-Frame Printer System

Abstract

One of the main issues in 3D printing processes is the occurrence of sudden power interruptions and unstable nozzle temperature, which may lead to print failures and reduced dimensional and surface quality of manufactured products. These problems result in material wastage, longer production lead time, and inconsistent print outcomes that are difficult to replicate. This study aims to design and integrate an autoresume system and a thermistor-based temperature sensor into a Double Vertical Frame 3D printer to improve print continuity and product quality, particularly for long-duration prints. The research method used is Research and Development (R&D), consisting of observation, literature review, system design, hardware and software implementation, functional testing, and quantitative data analysis. The experimental validation was conducted using three power-interruption variations (10, 15, and 30 minutes) and three different nozzle temperature settings (190 °C, 210 °C, and 260 °C) with PLA filament as the standard test material. The results showed that the autoresume system successfully continued the printing process automatically without significant layer shifting or structural defects. The optimal quality was achieved at 210 °C, generating prints with strong interlayer adhesion and low dimensional deviations. In contrast, a temperature of 190 °C resulted in weak bonding between layers, while 260 °C caused over-extrusion and dimensional inaccuracy. Overall, the developed system effectively improved printing efficiency, reliability, and success rate against external disturbances.

Keywords: *3D printer, autoresume, temperature sensor, power failure, double vertical frame*

© 2026 Authors

PENDAHULUAN

Dalam era industri 4.0, teknologi pencetakan tiga dimensi (3D) telah berkembang menjadi salah satu pilar penting dalam produksi dan rekayasa desain dengan kemampuan yang canggih untuk menghasilkan struktur kompleks secara efisien. Peningkatan kualitas produk cetak 3D melalui integrasi autoresume dan pemantauan suhu pada mesin double vertical frame menjadi relevan dalam konteks perkembangan teknologi cetak yang semakin maju. Teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing) telah mengalami kemajuan yang signifikan, di mana metode ini memungkinkan penciptaan objek fisik dari model digital dengan menggunakan berbagai macam filamen dan teknik pencetakan. Konsep Fused Deposition Modeling (FDM) sebagai salah satu teknologi Additive Manufacturing (AM) menjadi alat utama dalam proses ini, yang memungkinkan pembuatan objek dengan menambahkan material lapis demi lapis (Alshammari et al., 2021). Penggunaan teknologi ini tidak hanya terbatas pada sektor industri sederhana tetapi juga telah merambah ke berbagai bidang, termasuk kedokteran dan arsitektur (Kašparová et al., 2013; Brown et al., 2018).

Dalam beberapa tahun terakhir, penemuan dan inovasi dalam teknologi 3D printing telah menunjukkan peningkatan dalam kualitas cetakan serta efisiensi biaya dalam pembuatan prototipe cepat. Sebagai contoh, kemampuan printer 3D untuk mengekstrusi filamen, seperti PLA (Poly Lactic Acid), pada temperatur tertentu sangat berpengaruh terhadap stabilitas proses pencetakan (He & Khan, 2021). Filamen PLA, yang menjadi salah satu bahan terpopuler, memiliki rentang suhu lebur yang kritis, yaitu antara 190 °C hingga 220 °C (Kwon et al., 2020). Jika suhu ini tidak terjaga, maka hasil cetakan dapat menghadapi berbagai masalah, mulai dari lengkungan hingga ikatan antar lapisan yang buruk, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas akhir produk (Saputro et al., 2021; Turner et al., 2014). Monitor suhu yang efektif selama proses pencetakan adalah salah satu aspek yang perlu mendapat perhatian lebih dalam penelitian ini untuk memastikan stabilitas kualitas produk cetak.

Sejalan dengan itu, salah satu inovasi penting dalam sistem pencetakan 3D adalah adanya fitur autoresume. Fitur ini memungkinkan printer untuk melanjutkan proses pencetakan setelah terputusnya daya listrik secara tidak terduga, yang sering kali menjadi permasalahan serius dalam operasional mesin printer (Cao et al., 2024). Dengan hadirnya sistem ini, printer dapat secara otomatis menghentikan dan melanjutkan proses pencetakan, yang menjadi sangat penting dalam mencegah kerugian material dan waktu yang diakibatkan oleh gangguan listrik (He et al., 2018). Penelitian menunjukkan bahwa implementasi UPS (Uninterruptible Power Supply) dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam pemakaian printer 3D (Aroca et al., 2017).

Terdapat sejumlah masalah teknik yang dapat diatasi dengan mengendalikan suhu dan memperkenalkan sistem autoresume, serta memberikan solusi untuk memastikan kualitas hasil cetakan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan logika fuzzy dalam pengaturan suhu dapat menghasilkan pencetakan yang lebih stabil dengan kesalahan rata-rata yang lebih rendah (Mulyanto et al., 2022). Selain itu, pemantauan visual dan evaluasi daya cetak secara real-time sangat penting untuk mendeteksi masalah yang mungkin muncul saat pencetakan berlangsung, serta akan meningkatkan akurasi dan kualitas produk yang dihasilkan (Yang et al., 2024). Oleh karena itu, integrasi kedua fitur ini diharapkan dapat mendukung efisiensi dan efektivitas mesin 3D, serta mengurangi potensi kegagalan yang dapat mempengaruhi output pencetakan.

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan sistem integrasi antara autoresume dan pemantauan suhu sebagai solusi efektif dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi pencetakan 3D. Kualitas cetakan bukan hanya dipengaruhi oleh desain dan bahan yang digunakan, tetapi juga oleh stabilitas suhu selama proses pencetakan dan kemampuan untuk menangani gangguan yang terjadi. Penerapan solusi teknologi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas produk cetak 3D dan mengatasi masalah-masalah yang ada dalam sistem pencetakan saat ini (Tsolakis et al., 2022; Narita et al., 2020). Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan manfaat di tingkat operasional mesin cetak, tetapi juga mendorong inovasi lebih lanjut

dalam bidang teknologi percetakan 3D, termasuk potensi aplikasi di bidang industri dan kesehatan yang dapat mendukung efisiensi dan efektivitas dalam produksi (Kim et al., 2018; Andrews et al., 2023).

Secara praktis, pengembangan sistem autoresume dan pemantauan suhu ini memberikan manfaat nyata bagi pengguna 3D printer dalam mengurangi pemborosan material, waktu produksi, serta biaya operasional yang sering muncul akibat kegagalan cetak. Ketika terjadi pemadaman listrik atau ketidakstabilan daya, proses pencetakan dapat dilanjutkan tanpa harus mengulang dari awal, sehingga model cetak yang berukuran besar ataupun memakan waktu lama dapat tetap terselesaikan dengan baik. Selain itu, kontrol suhu nozzle yang presisi membantu menjaga kualitas lapisan pertama dan stabilitas struktur pada lapisan-lapisan berikutnya, sehingga mengurangi deformasi, delaminasi, dan cacat permukaan. Dengan demikian, teknologi yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat langsung meningkatkan keandalan proses cetak bagi pelaku industri, laboratorium pendidikan vokasi, dan pelaku usaha manufaktur skala kecil, terutama pada kondisi lingkungan yang memiliki risiko gangguan listrik atau variasi termal yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian yaitu R&D (Research and Development). Secara istilah, penelitian dan pengembangan atau Research and Development adalah suatu proses dalam mengembangkan suatu produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggung jawabkan. Penelitian ini mengikuti model Borg & Gall atau ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Produk yang dikembangkan berupa model, dan sistem. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Vokasi gedung B36 lantai 1 Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang. Alat dan bahan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Alat 3D Printer

Detail alat	Spesifikasi	Detail alat	Spesifikasi
Aluminium extrusion frame	Aluminium 2020 (alloy 6063)	Z-axisLead screw	T8
Corner bracket	L bracket	Backlash nut	8 mm
Bolts and screws	M4	Hotend	12 mm
Feet bads	Karet	nozzel	0,2-1,0 mm
Heated Bed	Carborundum glass	Cooling fan	30-50 mm
Spring bed leveling	4 spring	Extruder	20-40 mm
Knobs for bed leveling	10-12 mm	Motherboard	Silent Mainboard
X-axis extrusion	Alumunium 2020	Motor silent	Nema 17
Linear rails	SG10	Silent drivers	TMC2208
thermistor	Max 300^0C	Power supply	24V,350 W
Heater cartridge	12V	Endstops	X,Y,Z axis
X-carriage plate	Max 100^0C	filament	PLA
V-wheels	8 mm	Cable management	Cable sleeves
Tensioner	30 mm		

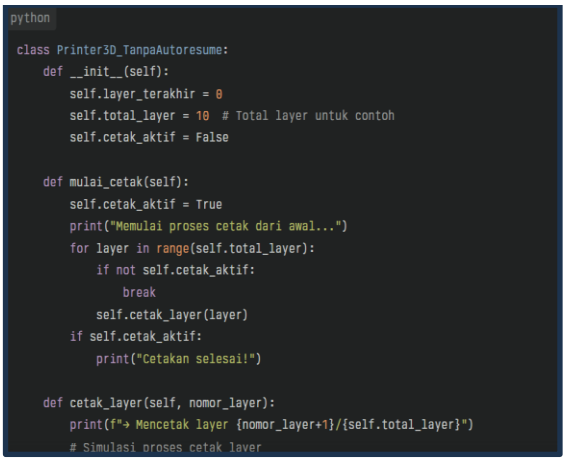
Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektif atau tidaknya sistem Autoresume yang dikembangkan. Adapun sistem Autoresume adalah fitur tambahan yang terdapat pada 3D Printer Double Vertical Frame. Sistem Autoresume ini merupakan bentuk sistem yang dibuat menggunakan bahasa pemrogaman guna menjalankan Power Loss. Autoresume menyimpan posisi terakhir pada nozzel secara otomatis apabila terjadi gangguan, kemudian melanjutkan kembali pada titik terakhir ketika printer dinyalakan kembali. Autoresume membutuhkan komponen tambahan yang digunakan untuk menghindari kegagalan autosave pada saat terjadi gangguan. Berikut pada tabel 2 adalah komponen tambahan yang digunakan.

Tabel 2. Komponen Tambahan *A*utoresume

Komponen	Fungsi
EEPROM	Menyimpan data ketika 3D printer mati
Modul marlin	Mengaktifkan fitur Power Loss recovery
G-Code recovery	Memulihkan gcode ketika daya mati

Sistem Autoresume pada 3D printer ini dikembangkan menggunakan firmware berbasis bahasa pemrograman C/C++, dengan proses pengolahan program dilakukan melalui perangkat lunak Visual Studio (gambar 1). Konfigurasi ADV dimodifikasi dengan menambahkan kode pemrograman pada firmware bawaan. Tujuan dari perubahan firmware ini adalah untuk mengaktifkan fitur Power Loss Recovery pada power supply saat terjadi pemadaman listrik, serta menyimpan data secara otomatis ke dalam EEPROM agar pencetakan dapat dilanjutkan dari titik terakhir.

Pembaruan sistem Autoresume ini memungkinkan penyimpanan data ketika terjadi kehilangan daya (power loss). Tanpa fitur ini, gangguan listrik akan menyebabkan proses pencetakan harus diulang dari awal, yang berdampak pada pemborosan waktu dan bahan. Oleh karena itu, pembaruan sistem ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi waktu dan pemanfaatan material. Dengan adanya sistem Autoresume, proses pencetakan pada 3D printer menjadi lebih andal karena mampu meminimalisir gangguan eksternal. Hal ini menjadikan perangkat 3D printer lebih tangguh dan adaptif dalam berbagai kondisi operasional.



```python
class Printer3D_TanpaAutoresume:
    def __init__(self):
        self.layer_terakhir = 0
        self.total_layer = 10  # Total layer untuk contoh
        self.cetak_aktif = False

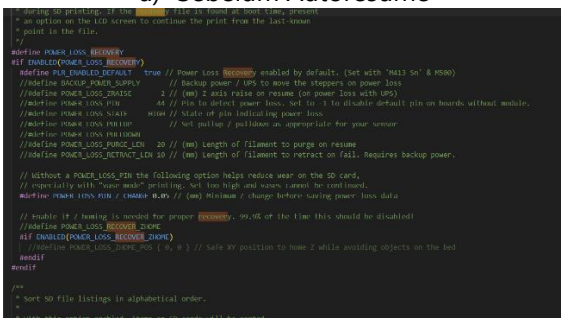
    def mulai_cetak(self):
        self.cetak_aktif = True
        print("Memulai proses cetak dari awal...")
        for layer in range(self.total_layer):
            if not self.cetak_aktif:
                break
            self.cetak_layer(layer)
        if self.cetak_aktif:
            print("Cetakan selesai!")

    def cetak_layer(self, nomor_layer):
        print(f"→ Mencetak layer {nomor_layer+1}/{self.total_layer}")
        # Simulasi proses cetak layer
```

a) Sebelum Autoresume



b) Build Sistem Autoresume



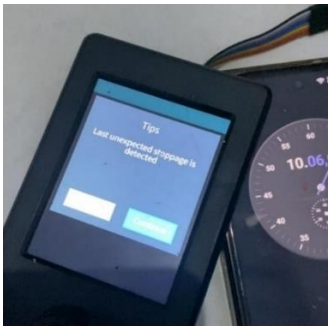
```
* during SD printing. If the recovery file is found at boot time, present
* an option on the LCD screen to continue the print from the last-known
* point in the file.
*/
#define POWER_LOSS_RECOVERY
#if ENABLED(POWER_LOSS_RECOVERY)
  #define PLR_ENABLED_DEFAULT   true // Power Loss Recovery enabled by default. (Set with 'M413 S<bool>' & M500)
  //#define BACKUP_POWER_SUPPLY     // Backup power / UPS to move the steppers on power loss
  //#define POWER_LOSS_ZRAISE       2 // (mm) Z axis raise on resume (on power loss with UPS)
  //#define POWER_LOSS_PIN         44 // Pin to detect power loss. Set to -1 to disable default pin on boards without module.
  //#define POWER_LOSS_STATE     HIGH // State of pin indicating power loss
  //#define POWER_LOSS_PULLUP         // Set pullup / pulldown as appropriate for your sensor
  //#define POWER_LOSS_PULLDOWN
  //#define POWER_LOSS_PURGE_LEN   20 // (mm) Length of filament to purge on resume
  //#define POWER_LOSS_RETRACT_LEN 10 // (mm) Length of filament to retract on fail. Requires backup power.

  // Without a POWER_LOSS_PIN the following option helps reduce wear on the SD card,
  // especially with "vase mode" printing. Set too high and vases cannot be continued.
  #define POWER_LOSS_MIN_Z_CHANGE 0.05 // (mm) Minimum Z change before saving power-loss data

  // Enable if Z homing is needed for proper recovery. 99.9% of the time this should be disabled!
  //#define POWER_LOSS_RECOVER_ZHOME
  #if ENABLED(POWER_LOSS_RECOVER_ZHOME)
    //#define POWER_LOSS_ZHOME_POS { 0, 0 } // Safe XY position to home Z while avoiding objects on the bed
  #endif
#endif

/**
 * Sort SD file listings in alphabetical order.
```

c) Penambahan Program Autoresume



d) Deteksi Autoresume

Gambar 1. Konfigurasi sistem Autoresume

Build Sistem dilakukan dengan penambahan modul plaform IO pada sistem dan modul auto Build marlin sebagai bahan Bahasa pemrogaman dan pembuatan format secara otomatis. Setelah auto Build adalah proses pengecekan Bahasa pemrogaman pada system. Proses printing yang berhenti tiba-tiba akan dilanjutkan kembali, maka indikator dari LCD Controller menunjukkan sistem Autoresume aktif pada saat listrik mati.

Pengujian penelitian akan mendapatkan efek dari Autoresume dan sensor suhu pada kualitas cetakan 3D, waktu cetak, dan stabilitas suhu. Selain itu desain akan menggunakan eksperimen faktorial 2x2, dengan dua faktor independen (Autoresume dan sensor suhu) dan dua tingkat (dengan atau tanpa Autoresume, dan jenis sensor suhu yang berbeda). Dalam penelitian dan pengembangan (R&D) pembuatan 3D printer, mengukur ketepatan atau akurasi cetakan sangat penting untuk memastikan kualitas dan presisi produk yang dihasilkan. Berikut adalah beberapa metode dan rumus yang digunakan untuk menilai ketepatan dalam proses ini.

Penyimpangan dimensi

Penyimpangan dimensi yaitu menilai seberapa jauh dimensi hasil cetak akan menyimpang dari desain asli. Dengan rumus yang digunakan:

$$Penyimpangan\ Dimensi\ =\ Dimensi\ Aktual\ -\ Dimensi\ Desain$$

Dimensi aktual adalah dimensi benda kerja pada proses printing. Sedangkan dimensi desain adalah dimensi pada Cura yang dikonversi menjadi G-code. Dengan interpretasi jika bernilai positif maka hasil cetakan lebih besar dari desain, dan jika hasil bernilai negatif maka menunjukkan hasil lebih kecil dari desain. Perhitungan ini digunakan pada pengujian Autoresume dan sensor suhu untuk mengetahui kecacatan pada produk.

Persentase Kesalahan Relatif

Bertujuan untuk mengetahui seberapa besar persentase kesalahan relatif terhadap dimensi desain, dengan rumus:

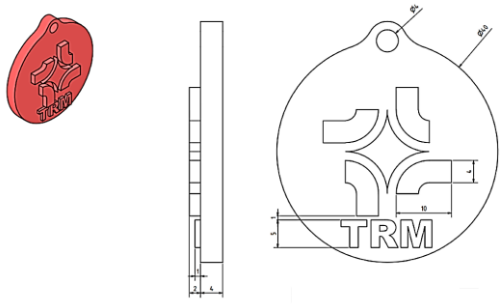
$$Persentase\ Kesalahan\ =\ (\frac{Penyimpangan\ Dimensi}{(Dimensi\ Desain)})\ x\ 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Autoresume

Pengujian Autoresume guna mengetahui kinerja sistem Power Loss pada mesin menggunakan bahan PLA dengan parameter antara lain, Layer height: 0,1 mm, Wall thickness: 1,6 mm, infill: 20%, Printing temperatur: 210^{0}C, Printing bed: 60^{0}C, Print speed: 80 mm/s, dan Fan speed: 80%. Perbandingan hasil dilakukan antara estimasi waktu pencetakan pada perangkat lunak Cura dengan waktu aktual pencetakan, dengan toleransi sebesar 4 menit. Toleransi ini mencakup proses yang tidak diperhitungkan oleh perangkat lunak Cura, seperti pemadaman listrik, pemanasan ulang nozzle dan bed, penyesuaian Z-offset, serta kalibrasi ulang. Estimasi waktu pada perangkat lunak Cura dihitung sejak awal pembentukan Build Plate Adhesion (lapisan pertama yang menempel pada permukaan) hingga nozzle kembali ke titik awal (titik netral Z) di bagian kiri depan.

Adapun desain spesimen dibuat dengan menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design) yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Desain dari spesimen ini meliputi bentuk, ukuran dan fitur spesifik untuk dianalisis seperti pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Spesimen analisis Autoresume

Data dari tabel 3 menunjukkan perbedaan Autoresume dan tanpa Autoresume. Penambahan sistem Autoresume berpengaruh pada proses cetak, dikarenakan terdapat waktu jeda. Perbedaan dari setiap indikator tersebut masih masuk dalam toleransi batasan waktu, akan tetapi pada Autoresume dengan jeda 4 kali terdapat penambahan waktu selama 5 menit. Sedangkan toleransi maksimal adalah 4 menit, hal ini terjadi karena proses setelah jeda memerlukan pemanasan ulang pada Heated Bed dan Hotend, menjadikan waktu tersebut bertambah seiring dengan jeda yang lebih banyak.

Tabel 3. Pengujian sistem dengan Autoresume dan tanpa Autoresume

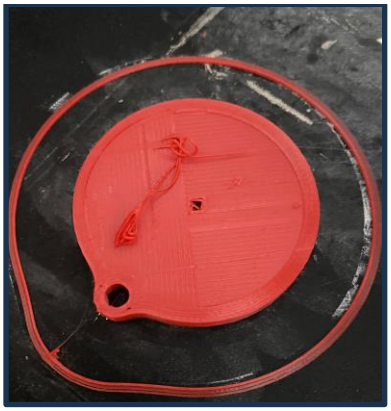
No	Jenis	Jeda	Waktu Jeda (Menit)	Total Waktu (Menit)
1	Tanpa Autoresume	0	0	47
2	Dengan Autoresume	4	1	52
3		2		49
4		1		48

Menurut Eyri et al., (2025), pengujian fitur autoresume yang efektif harus dilakukan melalui simulasi interupsi daya secara terjadwal untuk mengevaluasi efisiensi waktu dan kehandalan pemulihan sistem pencetakan. Pendekatan ini relevan dengan kondisi nyata dan membantu menentukan batas toleransi optimal fitur autoresume terhadap gangguan eksternal selama proses produksi. Temuan penelitian ini diperkuat oleh Lai et al., (2022), bahwa pengujian pada interval waktu jeda yang berbeda dapat menunjukkan pengaruh signifikan terhadap total durasi pencetakan. Selain itu, Dorweiler et al., (2021) menyatakan bahwa kestabilan suhu setelah pemulihan panas merupakan faktor penting untuk mencegah cacat cetak pada lapisan pertama. Hal ini sejalan dengan Kalilayeva et al., (2024) dan Fu et al., (2024) yang menegaskan bahwa interupsi proses pencetakan dapat meningkatkan risiko warping dan ketidaksesuaian dimensi apabila tidak diimbangi dengan kontrol pemulihan suhu yang presisi.

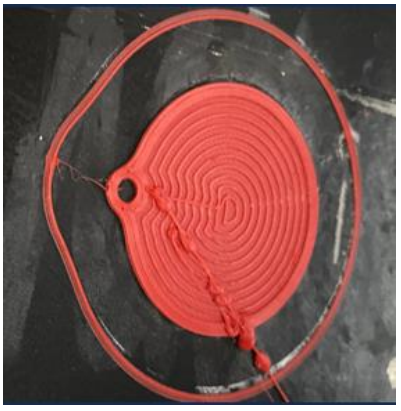
Dalam penelitian ini, hasil waktu cetak aktual sebesar 49 menit berbeda dari estimasi parameter Cura sebesar 47 menit. Selisih 2 menit masih dalam rentang toleransi sistem dan tidak memengaruhi kualitas capaian cetak. Perbedaan waktu tersebut menunjukkan bahwa fitur autoresume berfungsi secara optimal, mampu menjaga kontinuitas pencetakan, serta tidak memberikan dampak signifikan terhadap durasi pengerjaan secara keseluruhan.

Pengujian Hasil Cetakan dengan Fitur Autoresume

Fitur Autoresume sangat berguna dan menyelamatkan banyak cetakan panjang, namun hasil cetaknya bisa mengalami cacat kecil hingga signifikan jika tidak dikelola dengan benar. Integrasi dengan UPS, Firmware optimal, dan macros khusus sangat direkomendasikan agar kualitas cetak tetap maksimal saat terjadi gangguan. Berikut pada gambar 3 merupakan pengaruh Autoresume terhadap kualitas cetak.



a) Kegagalan Posisi Layer



b) Degradasi Material Saat Shutdown

Gambar 3. Contoh kegagalan proses printing

Posisi nozzle saat shutdown bisa sedikit bergerak saat mati langkah (Stall Silent), menyebabkan pergeseran layer dan permukaan tidak rata. Pada gambar 3a) menunjukkan layer lanjutan pada proses print tercetak terlalu tinggi, menyebabkan layer tidak menempel pada layer sebelumnya. Kegagalan seperti ini terjadi dikarenakan EEPROM tidak menyimpan data Z dengan sempurna. Kesalahan posisi layer ini bisa disebabkan ketika proses Flicker Hotend pada nozzel mendingin, menyebabkan penyumbatan filamen pada bagian ujung nozzel. Sedangkan pada gambar 3b) terlihat nozzle yang tetap panas saat Power Loss bisa menyebabkan filamen meleleh perlahan dan membentuk Blobs atau menempel ke cetakan. Mengatasi hal seperti ini ketika menggunakan sistem Autoresume yaitu ketika listrik kembali meyala, proses printing tidak langsung dilanjutkan tetapi mempause untuk memanaskan kembali Hotend dan mengeluarkan filament yang tersumbat pada nozzel. Hal ini menunjukkan bahwa setiap parameter pada proses cetak sangat berpengaruh, seperti kestabilan suhu, pengaturan kecepatan, posisi nozzel, dan berbagai parameter dari percetakan material. Faktor tersebut menghasilkan cetakan dengan massa, bentuk, dan struktur yang sesuai harapan.

Tabel 4. Pengujian benda kerja Autoresume

No	Waktu (menit)	Rata-rata		
		Massa total (g)	Ø Luar (mm)	Kekasaran Ra (µm)
1	10	4,08	40,06	4,13
2	15	4,08	40,04	5,969
3	30	4,08	39,98	6,58

Berdasarkan Tabel 4. bahwa hal ini menunjukkan fitur Autoresume tidak mempengaruhi kuantitas material yang digunakan secara signifikan, atau proses pencetakan tetap berjalan sesuai rencana tanpa kehilangan material. Massa total benda kerja tetap pada 4,08 g untuk seluruh waktu pengujian (10, 15, dan 30 menit). Pada tabel 4. Juga terlihat adanya penurunan bertahap pada diameter luar seiring bertambahnya waktu, ini dapat menunjukkan adanya penyusutan kecil atau ketidaktepatan yang mulai muncul saat Autoresume digunakan dalam durasi waktu yang lebih lama. Kekasaran permukaan meningkat signifikan seiring bertambahnya waktu dengan nilai Ra naik hampir 60% dari 10 menit ke 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu interupsi dan pemulihan proses melalui fitur Autoresume, maka permukaan hasil cetak semakin kasar. Ini bisa disebabkan antara lain; kesalahan penyambungan (layer shifting) saat proses dilanjutkan, perubahan temperatur saat mesin berhenti dan kembali bekerja, dan permukaan tidak homogen akibat variasi ekstrusi saat resume.



a) Produk dengan waktu 10 menit b) Produk dengan waktu 15 menit c) Produk dengan waktu 30 menit

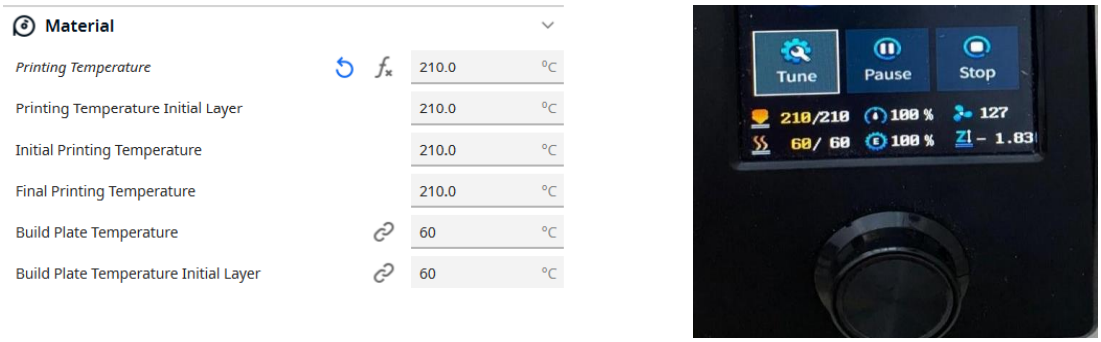
Gambar 4. Produk hasil pengujian Autoresume

Pengujian Sensor Suhu

Update sensor suhu tidak jauh berbeda dengan update Autoresume, proses ini menggunakan Software Visual Code Studio. Perubahan pada sistem berada pada konfigurasi h yang menggunakan bahasa pemrogaman C++. Konfigurasi h adalah kontrol dasar Thermistor dalam pengaturan suhu ketika proses cetak. Penambahan sistem sensor suhu untuk Thermistor adalah dengan kode #define

TEMP_SENSOR_0 untuk Thermistor pada bagian Hotend dan #define TEMP_SENSOR_BED_0 pada Thermistor bagian Heated Bed.

Setelah penambahan pemrograman sistem kontrol dasar maka sistem tersebut di Build guna menyelaraskan keseluruhan sistem. Proses Build ini menggunakan auto Build marlin dan juga Platform IO sebagai alat pembaca dan penyelaras. Build yang sudah selesai dapat dilihat perincian dari setiap sistem, komponen yang ada pada 3D printer yang disesuaikan dengan pengaturan pada Build tersebut. Contohnya adalah sensor suhu menggunakan Thermistor 100k NTC, maka komponen tersebut bisa dipilih pada hasil build. Penambahan jenis komponen dapat dilakukan dengan menambahkan Library pada Visual Code Studio.



a) Parameter sensor suhu Cura b) Indikator sensor suhu

Gambar 5. Parameter kontrol sistem

Pada gambar 5 adalah pengaturan kontrol sistem pada Cura yang digunakan untuk mengetahui keselarasan nilai aktual suhu pada LCD Controller. Pengaturan ini kemudian di konversi menjadi G-Code untuk bahasa pemrogaman printing yang di input menggunakan macro SD. G-Code dibaca oleh Silent Mainboard yang disalurkan ke LCD Controller sebagai indikator setiap sistem.

Berdasarkan Tabel 5. pengujian dilakukan pada tiga kondisi: suhu 210°C dan 190°C dengan sensor suhu aktif, serta suhu 260°C tanpa sensor suhu. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penggunaan sensor suhu memberikan hasil cetak yang lebih stabil dan berkualitas dibandingkan tanpa sensor suhu.

Pada suhu 210°C dengan sensor suhu, massa total rata-rata benda kerja adalah 3,98 g dengan diameter luar rata-rata sebesar 39,94 mm dan kekasaran permukaan rata-rata (Ra) sebesar 3,874 µm. Hasil ini menunjukkan permukaan yang relatif halus dan dimensi yang cukup presisi. Sementara itu, pada suhu 190°C, meskipun massa rata-rata sedikit menurun menjadi 3,83 g dan diameter luar sedikit meningkat menjadi 39,92 mm, nilai kekasaran permukaan cenderung sedikit lebih tinggi yaitu 3,888 µm. Menurut Gibson et al. 2010 bahwa ini menunjukkan bahwa penurunan suhu cetak sedikit mempengaruhi kekasaran permukaan, namun tetap dalam batas yang masih baik untuk kualitas cetakan.

Tabel 5. Pengujian benda kerja dengan sensor suhu

Sensor	**Suhu**	**Analisis sensor suhu**									**Rata-rata**		
		Uji 1			**Uji 2**			**Uji 3**					
		g	**mm**	**µm**	**g**	**mm**	**µm**	**g**	**mm**	**µm**	**g**	**mm**	**µm**
Dengan sensor suhu	210°C	3,69	40,03	3,932	4,08	39,86	5,367	4,16	39,93	2,322	3,98	39,94	3,874
	190°C	3,67	39,92	4.377	3,67	40,01	4.182	4,15	39,82	4,15	3,83	39,92	3,888
Tanpa sensor suhu	260°C	3,72	40,07	31,55	3,72	40,06	27.908	3,63	4.73	42.128	4	40,28	33,86

Keterangan: massa total (g), Ø Luar (mm), Kekasaran Ra (µm)

Sebaliknya, ketika sensor suhu tidak digunakan dan suhu dinaikkan menjadi 260°C, hasil pengujian menunjukkan penurunan signifikan pada kualitas permukaan, dengan nilai kekasaran permukaan rata-rata yang sangat tinggi yaitu 33,86 µm, jauh melampaui hasil pada kondisi dengan sensor. Selain itu, diameter luar meningkat menjadi 40,28 mm, yang menunjukkan ketidaksesuaian dimensi akibat over-extrusion yang kemungkinan disebabkan oleh suhu yang terlalu tinggi tanpa pengendalian sensor. Massa total tetap stabil di angka 3,72 g, tetapi ketidaksesuaian dimensi dan kualitas permukaan menunjukkan bahwa kontrol suhu otomatis sangat penting untuk menjaga stabilitas hasil cetak. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor suhu pada mesin 3D printer berkontribusi besar terhadap kualitas dimensi dan kekasaran permukaan cetakan. Penggunaan suhu 210°C memberikan hasil terbaik secara keseluruhan, sedangkan tanpa sensor suhu, meskipun cetakan tetap terbentuk, kualitas hasilnya jauh menurun.

Menurut Bahr dan Westkamper (2020), penyusutan objek cetak bersifat linier terhadap penurunan suhu di bawah keadaan transisi gelas polimer. Akan tetapi, energi termal terus bertambah melalui filamen baru yang diendapkan di atas filamen sebelumnya akibat proses pembuatan lapisan. Akhirnya, fenomena ini menyebabkan distribusi suhu yang tidak seragam sehingga mengakibatkan penyusutan yang tidak konsisten, yang mengarah pada pembentukan tegangan sisa di dalam sampel. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya, akan tetapi untuk hasil nilai kekasaran pada penelitian nilai kekasaran paling baik berada pada suhu 190°C tidak sama dengan hasil uji pada penelitian ini yaitu nilai kekasaran paling baik berada pada suhu 210°C. Untuk memperkuat analisis hasil eksperimen, dilakukan perhitungan statistik berupa rata-rata (Mean), Simpangan Baku (Standard Deviation), dan Persentase Deviasi Dimensi terhadap dimensi ideal 40 mm (diameter luar).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{Persentase Deviasi} = \left| \frac{x - x_{desain}}{x_{desain}} \right| \times 100\%$$

Tabel 6. Analisis statistik berdasarkan pengujian sensor suhu

Kondisi	Mean Diameter (mm)	SD (mm)	Deviasi (%)
210°C + Sensor	39.94	0.10	0.15%
190°C + Sensor	39.92	0.15	0.20%
260°C – Tanpa Sensor	40.28	0.42	0.70%

Keterangan: Sensor + suhu optimal menghasilkan presisi sangat tinggi (deviasi < 0.2%)

Selain pengaruh sensor suhu terhadap hasil cetakan, hasil analisis statistik menunjukkan bahwa stabilitas suhu memberikan dampak langsung pada presisi dimensi dan kekasaran permukaan (Liu et al., 2019). Suhu 210°C memberikan konsistensi dimensi terbaik karena berada pada rentang optimal pelelehan PLA, sehingga laju ekstrusi menjadi stabil dan membentuk lapisan dengan pengikatan antar-lapisan yang kuat. Pada kondisi ini, simpangan baku diameter hanya 0,10 mm, menunjukkan distribusi hasil cetak antar pengujian yang sangat seragam. Sebaliknya, pada suhu 190°C, meskipun kualitas permukaan tidak banyak terpengaruh, kekentalan yang lebih tinggi menyebabkan laju aliran material sedikit menurun dan potensi void antar-lapisan meningkat, sehingga ketepatan dimensi berkurang. Hal ini tercermin dari nilai simpangan baku mencapai 0,15 mm, menandakan inkonsistensi distribusi lapisan selama proses pencetakan.

Pada suhu ekstrem 260°C tanpa sensor, fenomena over-extrusion terjadi akibat viskositas material terlalu rendah dan tidak adanya sistem kontrol yang menyesuaikan debit material secara real-time. Nilai simpangan baku meningkat drastis menjadi 0.42 mm, serta deviasi dimensi mencapai 0.70%. Hasil

tersebut menegaskan bahwa parameter suhu yang terlalu tinggi bukan hanya menyebabkan perubahan bentuk, tetapi juga meningkatkan tekanan internal dan deformasi termal setelah pendinginan. Ketidaksesuaian ini berdampak pada toleransi produk, terutama jika digunakan pada aplikasi fungsional yang membutuhkan presisi tinggi (Long et al., 2023).

Dengan adanya kontrol sensor suhu, sistem mampu menjaga kestabilan temperatur nozzle serta merespons perubahan termal yang terjadi saat pencetakan berlangsung. Kontrol suhu berbasis umpan balik (feedback control) ini terbukti mengurangi fluktuasi pemanasan, sehingga distribusi material menjadi lebih merata dan kualitas permukaan meningkat. Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai studi sebelumnya yang menyatakan bahwa kestabilan suhu merupakan variabel kritis dalam kualitas cetakan 3D berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) (Akbar et al., 2024; Song et al., 2023; Chacón et al., 2017). Secara keseluruhan, kombinasi Autoresume dan sensor suhu aktif menghasilkan sistem pencetakan yang lebih andal, efisien, dan konsisten, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan kontinuitas pencetakan tanpa kegagalan akibat gangguan eksternal. Hasil ini memberikan validasi empiris bahwa peningkatan sistem kendali pada 3D printer merupakan langkah penting dalam pengembangan teknologi manufaktur aditif yang lebih cerdas dan adaptif terhadap dinamika proses.

KESIMPULAN DAN SARAN

Fitur Autoresume berjalan dengan baik saat terjadi gangguan listrik, pada gangguan menit 10 meskipun menggunakan sistem Autoresume empat kali, tetapi tidak ada kerusakan atau ketidaksesuaian yang signifikan pada dimensi dan kekasaran. hal ini menunjukkan bahwa intensitas penggunaan atau lama waktu sistem Autoresume tidak mempengaruhi proses cetak setelah daya mati dan hasil produk, akan tetapi proses cetak setelah daya mati memerlukan penambahan waktu guna pemanasan ulang pada Heated Bed dan Hotend. Sensor suhu pada 3D printer Double Vertical Frame dengan menggunakan Thermistor adalah komponen yang sangat penting dalam proses percetakan. Thermistor sebagai alat yang digunakan untuk indikator suhu pada led Controller. Sensor suhu juga menjaga stabilitas dan ketepatan pada pengaturan suhu sehingga mempengaruhi kualitas cetakan. Menggunakan suhu 190°C 210°C 260°C sebagai parameter untuk perbandingan hasil pada cetakan menunjukkan bahwa parameter menggunakan sensor suhu dengan kualitas terbaik adalah suhu 210°C sedangkan suhu 190°C sebagai parameter suhu dengan hasil seimbang. Parameter suhu 260°C tanpa menggunakan sensor suhu, dengan hasil paling buruk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dana Desentralisasi Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang Tahun Anggaran 2025 melalui Skema Program Kemitraan Masyarakat (PKM) dengan nomor kontrak: 24.2.38/UN32.14.1/LT/2025, atas dukungan pendanaan yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, R., Ardina Kusuma, Y., Poniman, P., Hakim, M. H., Arifa P.A, E., & Afli A., R. . (2024). Pengembangan dan Evaluasi Printer 3D FDM Berbasis Linear Slider MGN12 untuk Meningkatkan Kepresisian pada Aplikasi Ergonomi dan Industri. Jurnal Surya Teknika, 11(2), 677–683. https://doi.org/10.37859/jst.v11i2.8350

Alshammari et al. "Modelling and Investigation of Crack Growth for 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) with Various Printing Parameters and Ambient Temperatures." Polymers (2021). https://doi.org/10.3390/polym13213737

Andrews et al. "Automated 3D-Printer Maintenance and Part Removal by Robotic Arms." (2023). https://doi.org/10.1007/978-981-99-3330-3_27

Aroca et al. "Sequential additive manufacturing: automatic manipulation of 3D printed parts." Rapid Prototyping Journal (2017). https://doi.org/10.1108/RPJ-02-2016-0029

Bähr, F. dan Westkämper, E. (2018). Korelasi antara Parameter yang Mempengaruhi dan Sifat Kualitas Pemodelan Komponen. Deposisi yang Diproduksi. Procedia CIRP, 72, 12141219. Diakses dari https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.048

Brown et al. "Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics (2018). https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.06.009

Cao et al. "An Improved 3D Printing Extrusion Defect Detection Method Based On YOLO-v8." (2024). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3993733/v1

Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., & Núñez, P. J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and surface quality. Materials & Design, 124, 143–157. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065

Dorweiler, B., Baqué, P. E., Chaban, R., Ghazy, A., & Salem, O. (2021). Quality control in 3d printing: accuracy analysis of 3d-printed models of patient-specific anatomy. Materials, 14(4), 1021. https://doi.org/10.3390/ma14041021

Eyri, B., Gül, O., Yilmaz, S., Karsli, N. G., & Yılmaz, T. (2025). Characterization of abs/petg multi-material composites 3d printed by print-pause-print method. Polymer Engineering & Science, 65(5), 2353-2369. https://doi.org/10.1002/pen.27151

Fu, Z., Zhi-jiang, Z., & Zhang, Y. (2024). A study of defect detection in the first layer of fdm3d printing based on improved yolov8s. International Conference on Algorithms, High Performance Computing, and Artificial Intelligence (AHPCAI 2024), 21. https://doi.org/10.1117/12.3051354

Gibson, I., D. Rosen, and B. Stucker, Additive Manufacture Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing (Springer, New York, 2010). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9

He and Khan. "Effects of Printing Parameters on the Fatigue Behaviour of 3D-Printed ABS under Dynamic Thermo-Mechanical Loads." Polymers (2021). https://doi.org/10.3390/polym13142362

He et al. "Intelligent Fault Diagnosis of Delta 3D Printers Using Attitude Sensors Based on Support Vector Machines." Sensors (2018). https://doi.org/10.3390/s18041298

Ichimori et al. "Real-time material extrusion volume control system for 3D food printers." (2024). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4051517/v1

Kalilayeva, A., Zhumashev, D., Wei, D., Perveen, A., & Talamona, D. (2024). Investigation of stereolithography additively manufactured components for deviations in dimensional and geometrical features. Polymers, 16(23), 3311. https://doi.org/10.3390/polym16233311

Kartal and Kaptan. "Effects of Annealing Temperature and Duration on Mechanical Properties of PLA Plastics Produced by 3D Printing." European Mechanical Science (2023). https://doi.org/10.26701/ems.1290961

Kašparová et al. "Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models." Biomedical Engineering Online (2013). https://doi.org/10.1186/1475-925X-12-49

Kim et al. "Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics (2018). https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.025

Kwon et al. "A Filament Supply System Capable of Remote Monitoring and Automatic Humidity Control for 3D Printer." Journal of Sensors (2020). https://doi.org/10.1155/2020/8846466

Lai, Y., Yang, C., Levon, J., Chu, T., Morton, D., & Lin, W. (2022). The effects of additive manufacturing technologies and finish line designs on the trueness and dimensional stability of 3d-printed dies. Journal of Prosthodontics, 32(6), 519-526. https://doi.org/10.1111/jopr.13588

Liu, Y., Chen, M., & Chen, J. (2019). Practical nozzle temperature control method for robot fdm printing system. Computer and Information Science, 12(3), 21. https://doi.org/10.5539/cis.v12n3p21

Long, K. (2023). fdm 3d printer temperature control system based on pid control. Applied and Computational Engineering, 28(1), 72-79. https://doi.org/10.54254/2755-2721/28/20230129

Mulyanto et al. "The Performance Analysis of The 3D Printer Corexy FDM Type With Area X=200 Y=200 Z=200 mm." Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore (2022). https://doi.org/10.36805/jtmmx.v3i1.2476

Narita et al. "Utilization of desktop 3D printer-fabricated “Cost-Effective” 3D models in orthognathic surgery." Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery (2020). https://doi.org/10.1186/s40902-020-00269-0

Saputro et al. "Electrical Power Consumption Monitoring on Filament 3D Printer Using Web Based." E3S Web of Conferences (2021). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132802002

Song, X., Wang, X., & Zhang, Y. (2023). Research on 3d printing control system., 4. https://doi.org/10.1117/12.2679312

Tsolakis et al. "Comparison in Terms of Accuracy between DLP and LCD Printing Technology for Dental Model Printing." Dentistry Journal (2022). https://doi.org/10.3390/dj10100181

Turner, B. N., R. Strong, and S. A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling,” Rapid Prototyping J. 20, 192–204 (2014). https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2013-0012

Yang et al. "Process-based modeling of energy consumption for multi-material FDM 3D printing." Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment (2024). https://doi.org/10.1108/JIMSE-10-2023-0008