

RANCANG BANGUN ALAT DAUR ULANG LIMBAH BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN 3D PRINTING

Rafiuddin Syam*

Program Studi Teknik Rekayasa Otomasi,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta,
Indonesia

Wisnu Djatmiko

Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta,
Indonesia

Aldi Ramadhani Katim

Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta,
Indonesia

Info Artikel

Catatan Artikel:

Diterima: 5 November 2025
Revisi: 20 November 2025
Disetujui: 10 Desember 2025
DOI : 10.21009/jvote.v8i2.71552



Kata Kunci:

Botol plastik PET
Daur ulang
ESP32
Filamen 3D printing
Internet of Things (IoT)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji kinerja prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan V-Model yang terdiri atas sembilan tahapan, yaitu Requirement Analysis, System Design, Architectural Design, Module Design, Coding, Unit Testing, Integration Testing, System Testing, dan Final Verification. Prototipe mengintegrasikan ESP32 sebagai pengendali utama, REX-C100 sebagai pengendali suhu heater, termokopel tipe K dan MAX6675 untuk pemantauan suhu, sensor inframerah reflektif E18-D80NK untuk mendeteksi keluaran material, motor DC gearbox dan driver L298N sebagai mekanisme penarik, serta LCD I2C 20×4, Blynk, dan ESP32-CAM sebagai sistem pemantauan. Material yang digunakan berupa lembaran PET selebar 9 mm dengan massa 19,5 g yang diperoleh dari satu botol PET Vit 1.500 mL. Hasil pengujian menunjukkan alat mampu menghasilkan filamen sepanjang 5,47 m dengan massa akhir 17,7 g, sehingga kehilangan massa sebesar 1,8 g (9,23%) dan rendemen 90,77%. Diameter filamen yang dihasilkan sebesar 1,72 mm, dengan selisih 0,03 mm terhadap target 1,75 mm. Sensor E18-D80NK memiliki keberhasilan deteksi 100% pada jarak 1–4 cm, sedangkan termokopel dan MAX6675 memiliki selisih pembacaan 0,0–0,6 °C terhadap termometer inframerah. Pengujian pencetakan menggunakan Ender 3 Max menunjukkan filamen dapat diekstrusi dan digunakan untuk mencetak objek kubus. Evaluasi kualitas permukaan, dimensi, sifat mekanis dan termal, kadar air, adhesi antar lapis, serta performa jangka panjang belum dilakukan.

Artikel ini : Rafiudin. (2025). Rancang Bangun Alat Daur Ulang Limbah Botol Plastik Menjadi Filamen 3d Printing. *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika*, 8(2), 44-56

PENDAHULUAN

Limbah plastik merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring bertambahnya penggunaan produk berbahan plastik sekali pakai. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pada tahun 2024 timbulan sampah di Indonesia mencapai sekitar 33,8 juta ton, dengan komposisi sampah plastik sekitar 19% dari total timbulan sampah (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET), terutama sebagai kemasan botol minuman. Ketersediaan limbah botol PET yang melimpah menjadikannya berpotensi untuk dimanfaatkan kembali menjadi produk yang memiliki nilai tambah melalui proses daur ulang, salah satunya diolah menjadi material berbentuk filamen sebagai bahan baku pada proses pencetakan tiga dimensi (Zulkarnein et al., 2025).

Corresponding author:

Rafiuddin Syam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia(rafiuddin_syam@unj.ac.id)

Teknologi 3D printing, khususnya metode Fused Deposition Modeling (FDM) atau Fused Filament Fabrication (FFF), menggunakan filamen termoplastik sebagai material utama dalam proses pencetakan objek tiga dimensi. Filamen komersial umumnya memiliki diameter nominal 1,75 mm, sehingga pada penelitian ini diameter tersebut digunakan sebagai target dimensi hasil pembentukan filamen. Proses pembentukan filamen dari lembaran botol PET dilakukan melalui tahapan pemanasan dan penarikan material secara kontinu, sehingga diperlukan sistem yang mampu memantau suhu heat block di sekitar nozzle, mendeteksi keberadaan material berbentuk filamen yang keluar dari nozzle, serta memantau kondisi alat tanpa mengharuskan pengguna berada di dekat alat selama proses berlangsung.

Penelitian terdahulu yang membahas pembentukan filamen dari limbah botol plastik PET, seperti pada penelitian Umam (2023), Prakoso et al. (2022), dan Santoso (2022), telah berhasil menghasilkan filamen dari limbah botol plastik, tetapi masih memiliki keterbatasan berupa belum tersedianya sistem pemantauan visual berbasis jaringan lokal, sensor pendeteksi keberadaan material, maupun sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat kesenjangan berupa belum terintegrasinya sistem pembentukan material berbentuk filamen dengan sistem pemantauan suhu heat block, pendeteksian material, pemantauan visual, dan pemantauan berbasis IoT dalam satu prototipe.

Penelitian ini bertujuan menyempurnakan keterbatasan tersebut dengan mengintegrasikan temperature controller REX-C100 sebagai pengendali suhu heater, sensor termokopel tipe K untuk memantau suhu heat block di sekitar nozzle, sensor inframerah reflektif E18-D80NK untuk mendeteksi material berbentuk filamen yang keluar dari nozzle, serta mikrokontroler ESP32 yang mengelola sensor, aktuator, dan sistem pemantauan. Informasi kondisi alat ditampilkan melalui LCD I2C 20×4 dan dipantau secara berkala melalui aplikasi *Blynk* menggunakan jaringan Wi-Fi, sedangkan ESP32-CAM digunakan untuk pemantauan visual selama alat beroperasi. Tujuan penelitian adalah merancang, membangun, dan menguji kinerja prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen, meliputi pengujian fungsi setiap komponen, integrasi sistem, hasil pembentukan material berdasarkan massa, panjang, rendemen, dan diameter, serta uji fungsi pencetakan menggunakan mesin 3D printing tipe FDM.

1. 3D Printing dan Filamen

Teknologi 3D printing merupakan salah satu metode manufaktur aditif (additive manufacturing) yang membentuk objek tiga dimensi secara bertahap berdasarkan model digital. Metode Fused Deposition Modeling (FDM) atau Fused Filament Fabrication (FFF) memanaskan filamen termoplastik di dalam nozzle, kemudian mendeposisikan material secara berlapis hingga membentuk objek sesuai model digital (Alika et al., 2023). Filamen merupakan bahan termoplastik berbentuk silinder kontinu yang digunakan sebagai bahan baku FDM/FFF dan umumnya memiliki diameter nominal 1,75 mm dengan toleransi sekitar $\pm 0,05$ mm (Kevin et al., 2023). Selain dimensi, filamen juga perlu memiliki kebulatan (roundness), keseragaman diameter, kontinuitas, kadar air, kestabilan termal, dan sifat mekanis yang memadai agar proses ekstrusi berlangsung dengan baik. Pada penelitian ini, salah satu material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembentuk filamen adalah PET dari limbah botol plastik, yang dilunakkan melalui pemanasan pada suhu sekitar 200 °C mengacu pada penelitian Wirantara et al. (2025) kemudian dibentuk kembali menjadi material berbentuk filamen melalui proses penarikan termal (thermal drawing).

2. Internet of Things dan *Blynk*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data dan pemantauan dari lokasi yang berbeda (Budiyanti, 2021). *Blynk* merupakan platform IoT berbasis cloud yang digunakan

untuk menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi pada perangkat bergerak sehingga memungkinkan proses pemantauan data dan pengiriman perintah melalui jaringan internet (*Blynk*, 2024). Pada penelitian ini, ESP32 mengirimkan data suhu heat block, status deteksi material berbentuk filamen, dan nilai PWM motor DC menuju *Blynk* Cloud melalui jaringan Wi-Fi untuk ditampilkan pada aplikasi *Blynk*, sedangkan aplikasi *Blynk* juga digunakan untuk mengirimkan perintah pengaturan nilai PWM motor DC kepada ESP32.



Gambar 1. Logo Aplikasi *Blynk*

3. Mikrokontroler ESP32 dan ESP32-CAM

ESP32 merupakan *mikrokontroler* berbasis System on a Chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems, menggunakan prosesor Tensilica Xtensa® Dual-Core 32-bit dan telah terintegrasi dengan modul Wi-Fi dan *Bluetooth Low Energy* (BLE) (Yusro et al., 2021). Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang membaca data suhu dari modul MAX6675, membaca status Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK melalui GPIO 34, menjalankan logika program, mengendalikan relay, *driver* motor L298N, LCD I2C, dan buzzer, serta mengirimkan data pemantauan ke aplikasi *Blynk*. ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang dilengkapi kamera OV2640, modul Wi-Fi, dan slot microSD (Aji et al., 2024). Pada penelitian ini, ESP32-CAM bekerja secara terpisah dari ESP32 utama menggunakan program tersendiri dan dikonfigurasi dengan resolusi QVGA (320 × 240 piksel) untuk menghasilkan video streaming yang dikirim melalui alamat IP lokal dan ditampilkan pada dashboard *Blynk* tanpa melewati *Blynk* Cloud.

4. Termokopel Tipe K dan Modul MAX6675

Termokopel tipe K merupakan sensor suhu yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, yaitu munculnya beda potensial listrik akibat perbedaan suhu pada dua logam berbeda (Chromel dan Alumel) yang disambungkan, sehingga mampu digunakan untuk pengukuran suhu pada rentang yang luas (Putu et al., 2022). Tegangan yang dihasilkan *termokopel* sangat kecil sehingga digunakan modul MAX6675 sebagai *konverter sinyal termokopel* menjadi data digital yang dapat dibaca mikrokontroler melalui komunikasi SPI, dengan rentang pengukuran 0 °C hingga 1024 °C, resolusi 0,25 °C, dan akurasi ±2 °C (Analog Devices, 2021). Pada penelitian ini, termokopel tipe K dipasang pada heat block dan dihubungkan ke ESP32 melalui pin GPIO 19 (SO), GPIO 5 (CS), dan GPIO 18 (SCK), sehingga suhu yang terbaca merupakan suhu heat block dan digunakan sebagai informasi pemantauan yang ditampilkan pada LCD I2C dan aplikasi *Blynk* tanpa dijadikan dasar pengendalian elemen pemanas.

5. Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK

Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK bekerja dengan memancarkan cahaya inframerah ke arah objek dan mendeteksi cahaya yang dipantulkan kembali, sehingga menghasilkan sinyal keluaran digital yang menunjukkan keberadaan objek (Handsontec, n.d.). Sensor ini memiliki tegangan operasi 5 V DC dan jangkauan deteksi hingga ±20 cm. Pada penelitian ini, sensor dipasang pada bagian keluaran nozzle dengan jarak kerja sekitar 2 cm untuk mendeteksi keberadaan material berbentuk filamen. Keluaran digital sensor dihubungkan ke GPIO 34 pada ESP32 sebagai masukan yang menentukan pengaktifan relay pemanas, relay kipas, motor DC, dan buzzer sesuai logika program yang diterapkan.

6. Sistem Pemanas, Nozzle, dan Heat Block

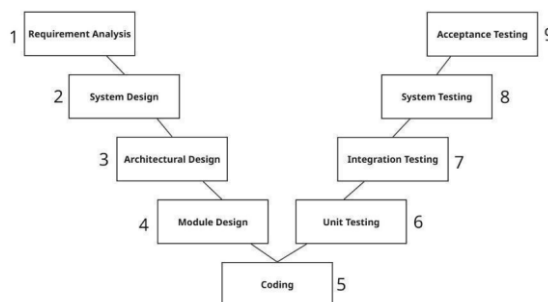
Heating ceramic cartridge merupakan elemen pemanas listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui elemen resistif, digunakan sebagai sumber panas untuk melunakkan material PET (Purbakawaca et al., 2026). Pada penelitian ini digunakan heating ceramic cartridge memiliki tegangan 12 V dan daya 40 W yang pengaturan suhunya dikendalikan oleh temperature controller REX-C100 berdasarkan pembacaan termokopel tipe K, sehingga heat block dapat mencapai dan mempertahankan suhu operasi sekitar 200 °C sesuai setpoint. Nozzle merupakan komponen berbahan brass (kuningan) berdiameter lubang keluaran 1,9 mm yang berfungsi sebagai cetakan pembentuk (forming die) material PET yang telah melunak menjadi material berbentuk filamen (Dylan et al., 2022), sedangkan *heat block* berbahan aluminium berfungsi sebagai media penghantar panas dari *heating ceramic cartridge* menuju *nozzle* (Supriyanto & Andriyansyah, 2025).

7. Motor DC, Driver L298N, dan Modul Relay

Motor DC *gearbox* digunakan sebagai penggerak mekanisme penarikan material berbentuk filamen setelah keluar dari *nozzle*, dengan tegangan kerja 12 V dan kecepatan nominal 1200 RPM pada rasio gearbox 1:100. Pengaturan kecepatan motor dilakukan menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) melalui *driver* motor L298N yang menerapkan konfigurasi dual H-Bridge (Prastiyo, 2024), dengan tiga variasi nilai PWM pada penelitian ini, yaitu kategori rendah (175), sedang (200), dan tinggi (250) pada resolusi PWM 8-bit (0–255). Modul relay dua kanal digunakan sebagai sakelar elektronik yang dikendalikan ESP32 melalui logika aktif LOW untuk menghubungkan dan memutus catu daya 12 VDC menuju temperature controller REX-C100 dan kipas DC 12 V sesuai hasil deteksi Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK.

8. Metode Pengembangan V-Model

V-Model merupakan pengembangan dari metode waterfall yang menekankan pasangan tahapan verifikasi dan validasi pada setiap fase pengembangan (Mirza et al., 2025). Model ini terdiri atas sembilan tahapan yang saling berkaitan, yaitu *Requirement Analysis*, *System Design*, *Architectural Design*, *Module Design*, *Coding*, *Unit Testing*, *Integration Testing*, *System Testing*, dan *Final Verification*. Model ini dipilih karena memberikan tahapan pengembangan yang sistematis mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, hingga pengujian, sehingga proses pengembangan alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen dapat dilakukan secara terstruktur.



Gambar 2. Tahapan Pengembangan V-Model

METODE

1. Tempat dan Waktu Penelitian

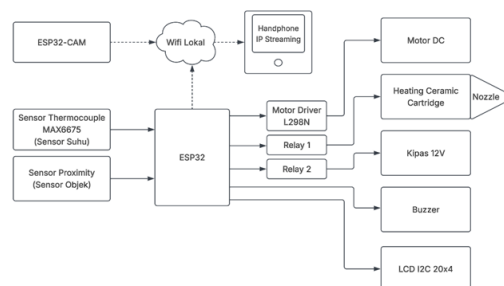
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi Kendali, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, pada rentang waktu Juli 2025 hingga Juli 2026.

2. Metode Pengembangan

Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan V-Model. Pada tahap *Requirement Analysis* dan *System Design* dilakukan identifikasi kebutuhan sistem berupa alat yang mampu mengolah lembaran PET menjadi material berbentuk filamen, memantau suhu heat block, mendeteksi material berbentuk filamen, serta menyediakan pemantauan berbasis IoT. Tahap *Architectural Design* dan *Module Design* menyusun skematik rangkaian elektronika, rancangan mekanik menggunakan Autodesk Fusion 360, serta algoritma kerja setiap modul. Tahap *Coding* mengimplementasikan program pada ESP32 dan ESP32-CAM menggunakan Arduino IDE versi 2.3.2. Selanjutnya dilakukan pengujian bertahap melalui *Unit Testing*, *Integration Testing*, dan *System Testing*, hingga *Final Verification* untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai kebutuhan penelitian, termasuk uji fungsi pencetakan menggunakan mesin 3D printing tipe FDM.

3. Rancangan Sistem

Prototipe yang dikembangkan terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, termokopel tipe K dan modul MAX6675 untuk memantau suhu heat block, Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK untuk mendeteksi material berbentuk filamen, temperature controller REX-C100 dan heating ceramic cartridge sebagai sistem pemanas, motor DC gearbox dengan *driver* L298N sebagai mekanisme penarikan material, kipas DC 12 V sebagai pendingin, LCD I2C 20×4 dan buzzer sebagai media pemantauan lokal, serta aplikasi *Blynk* dan ESP32-CAM sebagai media pemantauan jarak jauh. Rancangan blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Alat

Pada sisi input, ESP32 menerima data suhu dari termokopel tipe K melalui modul MAX6675 serta sinyal deteksi dari Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK. Pada sisi proses, ESP32 mengendalikan *driver* motor L298N, relay heating ceramic cartridge, relay kipas DC, LCD I2C, dan buzzer sesuai logika program, sedangkan pengaturan suhu heat block dilakukan oleh temperature controller REX-C100 berdasarkan pembacaan termokopel tipe K. Pada sisi output, *driver* motor L298N menggerakkan motor DC gearbox yang menarik material berbentuk filamen, sedangkan data suhu, status sensor, dan nilai PWM dikirimkan ke *Blynk* Cloud untuk ditampilkan pada aplikasi *Blynk*. ESP32-CAM bekerja secara independen menyediakan video streaming melalui alamat IP lokal pada jaringan Wi-Fi yang sama.

4. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini meliputi multimeter digital Zotec untuk mengukur tegangan; Infrared Thermometer Digital TIP TOP TIT-400 (resolusi 0,1 °C, akurasi ±1,5

°C) sebagai alat pembanding suhu; jangka sorong digital CASTA Sigmat (resolusi 0,01 mm) untuk mengukur diameter filamen; timbangan digital Taffware (resolusi 0,01 g); meteran Kenko untuk mengukur panjang filamen; penggaris baja Joyko RL-ST30 untuk memverifikasi jarak deteksi sensor; serta printer 3D Creality Ender 3 Max dengan diameter nozzle 0,4 mm untuk uji fungsi pencetakan.

5. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan meliputi suhu heat block, hasil deteksi Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK, kondisi kerja Heating Ceramic Cartridge, motor DC, kipas DC, buzzer, LCD I2C 20×4, ESP32-CAM, serta karakteristik material berbentuk filamen berupa massa, panjang, dan diameter. Pengujian dilakukan pada satu botol plastik PET merek Vit berkapasitas 1.500 mL yang dipotong menjadi lembaran selebar 9 mm, kemudian diproses menggunakan suhu operasi sekitar 200 °C. Rendemen dan kehilangan massa dihitung dengan membandingkan massa material berbentuk filamen terhadap massa awal lembaran PET yang diproses, sedangkan persentase galat relatif pembacaan sensor suhu dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Galat relatif (\%)} = |(Suhu referensi - Suhu terukur) / Suhu referensi| \times 100\% \dots(1)$$

Uji fungsi pencetakan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan menggunakan mesin pencetakan 3D tipe FDM Ender 3 Max dengan objek uji berbentuk kubus 20×20×20 mm, parameter suhu heat block 255 °C, suhu heated bed 90 °C, layer height 0,20 mm, print speed 50 mm/s, infill 15%, dan cooling fan speed 100%, untuk memverifikasi bahwa material berbentuk filamen dapat melalui proses feeding, ekstrusi, dan pencetakan objek uji.

HASIL DAN DISKUSI

1. Hasil Perancangan Produk

Prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen berhasil direalisasikan sesuai rancangan menggunakan *mikrokontroler* ESP32 sebagai pengendali utama. Alat mampu mengolah lembaran botol plastik PET merek Vit berkapasitas 1.500 mL dengan ketebalan 0,13 mm dan massa lembaran 19,5 gram. Proses pembentukan filamen menggunakan heating ceramic cartridge sebagai sumber panas yang dikendalikan oleh *temperature controller* REX-C100 dengan setpoint suhu sekitar 200 °C, sedangkan suhu heat block dipantau menggunakan termokopel tipe K dan modul MAX6675 kemudian ditampilkan pada LCD I2C dan aplikasi *Blynk*. Tampilan keseluruhan alat dan dashboard pemantauan *Blynk* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan Keseluruhan Alat Monitoring**2. Hasil Pengujian Sumber Tegangan**

Pengujian sumber tegangan dilakukan menggunakan multimeter digital untuk mengukur tegangan pada beberapa titik distribusi catu daya. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan

Titik Pengukuran	Tegangan Referensi	Tegangan Terukur
PLN	220 VAC	227 VAC
Power Supply 12V	12 VDC	12,2 VDC
Regulator 5V	5 VDC	5,1 VDC

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan masukan PLN sebesar 227 VAC menghasilkan tegangan keluaran power supply sebesar 12,2 VDC, yang kemudian diturunkan menggunakan modul step-down converter menjadi 5,1 VDC untuk menyuplai ESP32, ESP32-CAM, koil relay, sensor, modul MAX6675, LCD I2C 20×4, dan buzzer. Nilai tersebut mendekati tegangan nominal yang dibutuhkan oleh komponen pada kondisi pengujian.

3. Hasil Pengujian Sensor Proximity Inframerah Reflektif E18-D80NK

Pengujian dilakukan dengan menempatkan material berbentuk filamen pada jarak 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dari sensor, serta pada kondisi tanpa material, masing-masing sebanyak enam kali pengulangan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Proximity

Jarak Pengujian	Jumlah Deteksi Berhasil	Status Sensor	Tingkat Keberhasilan
1 cm	6/6	Terdeteksi	100%
2 cm	6/6	Terdeteksi	100%
3 cm	6/6	Terdeteksi	100%
4 cm	6/6	Terdeteksi	100%
Tidak diletakkan	6/6	Tidak terdeteksi	100%

Sensor proximity berhasil mendeteksi material berbentuk filamen pada seluruh jarak pengujian sehingga tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100% pada rentang jarak 1–4 cm sesuai konfigurasi pemasangan pada alat. Hasil ini hanya berlaku pada kondisi pengujian penelitian, yaitu posisi pemasangan sensor sekitar 2 cm dari jalur keluaran material dan kondisi pencahayaan laboratorium saat pengujian.

4. Hasil Pengujian Termokopel Tipe K dan Modul MAX6675

Pengujian dilakukan sebanyak enam kali pengulangan pada suhu operasi sekitar 200 °C dengan membandingkan hasil pembacaan termokopel tipe K melalui modul MAX6675 terhadap termometer inframerah sebagai alat pembanding. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Termokopel Tipe K dan Modul MAX6675

Pengulangan	Termometer Inframerah (°C)	Termokopel + MAX6675 (°C)	Selisih (°C)	Galat (%)
1	200,0	200,0	0,0	0,00
2	200,0	199,5	0,5	0,25
3	200,0	199,7	0,3	0,15
4	200,0	199,4	0,6	0,30
5	200,0	199,9	0,1	0,05
6	200,0	199,8	0,2	0,10

Selisih pembacaan antara *termokopel* tipe K melalui modul MAX6675 dan termometer inframerah berada pada rentang 0,0 °C hingga 0,6 °C, dengan galat relatif 0,00%–0,30%. Nilai suhu yang ditampilkan pada LCD I2C 20×4 dan aplikasi *Blynk* merupakan hasil pembacaan langsung modul MAX6675 tanpa koreksi maupun kompensasi empiris. Hasil pengujian ini hanya menunjukkan bahwa selisih pembacaan relatif kecil pada kondisi pengujian dan tidak digunakan untuk menyatakan tingkat akurasi sensor secara mutlak, mengingat termometer inframerah juga memiliki keterbatasan pengukuran akibat emisivitas permukaan heat block.

5. Hasil Pengujian Relay, IoT, dan Seluruh Sistem

Pengujian relay dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk memverifikasi fungsi relay heater dan relay kipas dalam menghubungkan dan memutus suplai daya menuju temperature controller REX-C100 dan kipas DC berdasarkan hasil deteksi Sensor Inframerah Reflektif E18-D80NK. Pada kondisi filamen terdeteksi, kedua relay aktif (logika Low) sehingga suhu nozzle mencapai 199 °C, 199,5 °C, dan 199,7 °C pada masing-masing pengujian, sedangkan pada kondisi filamen tidak terdeteksi, kedua relay tidak aktif (logika High) sehingga suhu nozzle kembali mendekati suhu lingkungan sekitar 29 °C.

Pengujian IoT dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan meliputi tampilan data suhu heat block, status deteksi filamen, tampilan video ESP32-CAM, dan nilai PWM motor DC pada aplikasi *Blynk*, serta pengiriman perintah perubahan nilai PWM dari *Blynk* ke ESP32. Seluruh parameter pengujian menunjukkan hasil berhasil pada setiap pengulangan. Pengujian seluruh sistem yang dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan juga menunjukkan bahwa seluruh komponen, meliputi termokopel tipe K, sensor proximity, ESP32-CAM, heating ceramic cartridge, motor DC, kipas DC, buzzer, dan LCD I2C 20×4, dapat bekerja sesuai fungsi dan saling terintegrasi sesuai logika program yang diterapkan pada ESP32. Tampilan dashboard *Blynk* yang menampilkan suhu heat block, status sensor, nilai PWM motor, serta tampilan kamera dari ESP32-CAM ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Dashboard Pemantauan pada Aplikasi *Blynk*

6. Hasil Pengujian Filamen Daur Ulang Botol Plastik PET

Pengujian dilakukan menggunakan satu botol plastik PET merek Vit berkapasitas 1.500 mL dengan massa awal 24,5 gram. Setelah dipotong menjadi lembaran selebar 9 mm, diperoleh massa lembaran PET yang dapat diproses sebesar 19,5 gram, sedangkan sisa 5,0 gram (20,41%) berasal dari tutup, dasar botol, dan sisa potongan yang tidak digunakan. Lembaran PET kemudian diproses menggunakan metode penarikan termal pada suhu operasi nozzle sekitar 200 °C. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Filamen Daur Ulang Botol Plastik PET

Parameter	Hasil Pengukuran
Massa botol PET sebelum diproses	24,5 gram
Massa lembaran PET yang diproses	19,5 gram
Ketebalan lembaran PET	0,13 mm
Panjang material berbentuk filamen	547 cm (5,47 m)
Massa material berbentuk filamen	17,7 gram
Kehilangan massa proses	1,8 gram (9,23%)
Rendemen proses	90,77%
Diameter material berbentuk filamen (satu titik)	1,72 mm
Selisih terhadap target diameter (1,75 mm)	0,03 mm



Gambar 6. Lembaran PET Hasil Pematangan dan Pengukuran Diameter Material Berbentuk Filamen

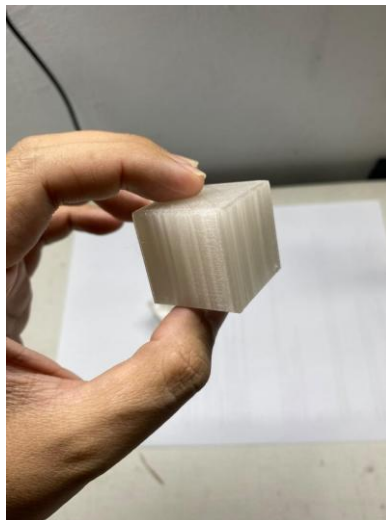
Diameter material berbentuk filamen hasil pengukuran sebesar 1,72 mm memiliki selisih 0,03 mm terhadap target diameter penelitian sebesar 1,75 mm, sehingga masih berada dalam rentang toleransi penelitian yaitu 1,70–1,80 mm. Pengukuran diameter hanya dilakukan pada satu titik dan satu arah penampang, sehingga hasil tersebut belum dapat digunakan untuk mengevaluasi keseragaman diameter maupun kebulatan (roundness) sepanjang material berbentuk filamen.

7. Hasil Pengujian Fungsi Pencetakan

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan mesin pencetakan 3D tipe FDM Ender 3 Max dengan nozzle berdiameter 0,4 mm terhadap objek uji berbentuk kubus berukuran 20×20×20 mm, sebanyak tiga kali pengulangan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Fungsi Pencetakan

Parameter Pengujian	Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3
Filamen masuk ke ekstruder	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Filamen ditarik menuju nozzle	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Filamen keluar melalui nozzle	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Proses pencetakan selesai	1 jam 1 menit	1 jam 1 menit	1 jam 1 menit



Gambar 7. Objek Uji Hasil Pencetakan Berbentuk Kubus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada ketiga pengulangan, material berbentuk filamen dapat masuk ke mekanisme ekstruder, ditarik menuju nozzle, keluar melalui nozzle, dan digunakan untuk mencetak objek uji hingga proses pencetakan selesai tanpa ditemukan gangguan berupa slip pada ekstruder, putusnya material, maupun penyumbatan nozzle. Pengujian ini hanya bertujuan memverifikasi fungsi dasar material pada proses pencetakan dan tidak mencakup evaluasi kualitas hasil cetak, akurasi dimensi, sifat mekanis, sifat termal, kadar air, maupun adhesi antarlapis.

8. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET berhasil dirancang dan dibangun untuk membentuk material berbentuk filamen melalui proses penarikan termal menggunakan heat block bersuhu operasi sekitar 200 °C. Sistem pemantauan yang dikembangkan mampu menampilkan informasi suhu heat block, status sensor, dan kondisi relay melalui LCD I2C 20×4 dan aplikasi *Blynk* secara konsisten pada seluruh pengujian. Pengaturan suhu heat block dilakukan oleh temperature controller REX-C100, sedangkan termokopel tipe K melalui modul MAX6675 berperan sebagai perangkat pemantauan tanpa dijadikan dasar pengendalian suhu, karena sistem belum menerapkan pengendalian suhu tertutup (closed-loop control) berbasis ESP32.

Dari satu botol PET bermassa 19,5 gram (setelah dipotong menjadi lembaran), diperoleh material berbentuk filamen bermassa 17,7 gram dengan panjang 5,47 m dan diameter 1,72 mm, sehingga rendemen proses mencapai 90,77% dan diameter mendekati target penelitian sebesar 1,75 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa metode penarikan termal yang diterapkan mampu menghasilkan material berbentuk filamen dari limbah botol PET secara fungsional. Uji fungsi pencetakan pada mesin FDM juga menunjukkan bahwa material dapat melalui mekanisme feeding dan ekstrusi tanpa hambatan pada tiga kali pengulangan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian pembentukan material hanya dilakukan pada satu botol PET dan satu kondisi proses sehingga belum mewakili variasi karakteristik material yang lebih luas. Pengukuran diameter hanya dilakukan pada satu titik sehingga belum dapat menggambarkan keseragaman diameter sepanjang material berbentuk filamen. Selain itu, penelitian ini belum mencakup pengujian sifat mekanis, sifat termal, kadar air, maupun kualitas hasil cetak sesuai standar filamen 3D printing, serta belum dilengkapi fitur proteksi suhu berlebih (over-temperature protection) maupun mekanisme fail-safe apabila sensor suhu mengalami kegagalan pembacaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen berbasis Internet of Things dengan pendekatan V-Model berhasil dikembangkan. Seluruh komponen utama, meliputi termokopel tipe K dan modul MAX6675, sensor inframerah reflektif E18-D80NK, relay, motor DC, kipas DC, LCD I2C, aplikasi *Blynk*, dan ESP32-CAM, dapat bekerja sesuai fungsinya berdasarkan hasil pengujian fungsional. Proses pembentukan menghasilkan material berbentuk filamen sepanjang 5,47 m dengan massa akhir 17,7 g dari massa lembaran PET sebesar 19,5 g, sehingga diperoleh kehilangan massa sebesar 1,8 g (9,23%) dan rendemen proses sebesar 90,77%. Diameter material berbentuk filamen hasil pengukuran pada satu titik sebesar 1,72 mm, atau memiliki selisih 0,03 mm terhadap target diameter 1,75 mm. Uji fungsi pencetakan menggunakan mesin FDM menunjukkan bahwa material berbentuk filamen dapat masuk ke ekstruder, keluar melalui nozzle, dan menyelesaikan proses pencetakan pada tiga kali pengulangan. Hasil tersebut berlaku pada kondisi pengujian menggunakan satu botol plastik PET dan satu proses

produksi sehingga belum dapat digunakan untuk menyimpulkan kualitas material berbentuk filamen secara umum.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem pengendalian kecepatan penarikan filamen secara otomatis agar diameter yang dihasilkan lebih seragam; mengoptimalkan mekanisme pemotongan, pemanasan, dan penarikan material untuk mengurangi kehilangan massa serta meningkatkan rendemen; menambahkan sistem pengendalian dan proteksi suhu berbasis histeresis serta proteksi kegagalan sensor untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem; melakukan pengujian filamen secara lebih komprehensif meliputi pengukuran diameter pada lebih banyak titik dengan analisis statistik serta pengujian menggunakan berbagai jenis botol PET; dan mengevaluasi performa filamen pada mesin pencetakan 3D serta konsumsi energi sistem secara lebih menyeluruh.

REFERENSI

- Aji, B. B. P., Istikmal, & Irawan, A. I. (2024). Implementasi ESP32-CAM dan aplikasi *Blynk* pada smart door bell sistem. *E-Proceeding of Engineering*, 11(4), 2577.
- Alika, A. N., Viniani, P., & Hendrawan, A. (2023). Pengolahan teknik 3D printing dengan filamen PLA sebagai embellishment pada material tekstil. *E-Proceeding of Art & Design*, 10(3), 4622.
- Analog Devices. (2021). MAX6675 cold-junction-compensated K-thermocouple-to-digital converter (0°C to +1024°C) data sheet (Rev. 3).
- Blynk*. (2024). *Blynk IoT platform documentation*. Diakses dari <https://docs.blynk.io>
- Budiyanti, R. T. (2021). Buku ajar Internet of Things. CV. Asta Karya Kreatifa Media.
- Dylan, M., Soewono, A., & Darmawan, M. (2022). Analisis laju aliran pada nozzle printer tiga dimensi untuk material thermoplastic polyurethane. *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.25170/cylinder.v8i1.3907>
- Handsontec. (n.d.). E18-D80NK adjustable infrared sensor switch [Datasheet]. [https://handsontec.com/dataspecs/sensor/E18-D80NK IR Sensor.pdf](https://handsontec.com/dataspecs/sensor/E18-D80NK%20IR%20Sensor.pdf)
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Capaian pengelolaan sampah nasional: Data timbulan sampah tahun 2024. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Kevin, Fatwa, M. Z., & Jufri, W. (2023). Pengembangan mesin ekstrusi filamen 3D printer dengan sistem kendali semi otomatis [Skripsi, Politeknik Negeri Ujung Pandang]. Repositori Poliupg.
- Mirza, A., Lusita, M. D., & Chandra, Y. I. (2025). Implementasi model V dalam pengembangan aplikasi bank sampah berbasis web. *Jurnal Esensi Infokom: Jurnal Esensi Sistem Informasi dan Sistem Komputer*. <https://doi.org/10.55886/infokom.v9i2.91>
- Prakoso, A. T., Arifin, S. D., Mahendra, N. Y., Saputra, M. A. A., & Basri, H. (2022). Pemanfaatan limbah plastik dalam pembuatan filamen 3D printer menggunakan mesin ekstrusi pada Lab Konversi Energi Universitas Sriwijaya. *Jurnal Pelita Sriwijaya*, 1(2).
- Prastiyo, H. (2024). Desain mobile robot untuk mendukung pendidikan STEM berbasis ESP32 dengan platform Scratch coding. *Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian*, (6), 1029–1037.

- Purbakawaca, R., Bilah, M., Wijaya, R., Setiawan, A., & Mustajab, I. (2026). Rancang bangun mesin pultrusion untuk pemanfaatan limbah botol plastik Polyethylene Terephthalate (PET) menjadi filamen 3D printer. *JoP*, 11(2), 159–169.
- Putu, I. G. S., Made, I., Setiadi, E., Bagus, P., Saputra, W., Wisesa, W. N., Ayu, D., Dewi, I. C., Gede, I., Widharma, S., Wayan, I., Ardana, R., Teresna, W., Sudiarta, W., & Nyoman Sugiarta, D. I. (2022). Sistem kontrol otomatis dan monitoring temperatur ruangan menggunakan ESP-32 untuk mengendalikan motor DC pada motorized valve. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, 3, 99–103.
- Santoso, B. D. (2022). Rekayasa mesin pembuat filamen dari sampah botol PET untuk 3D printing [Laporan akhir, Program Studi D-III Teknik Mesin, Universitas Tidar]. Universitas Tidar.
- Supriyanto, B., & Andriyansyah, D. (2025). A recycling device for converting PET bottles into filament material for 3D printers. *Teknika*, 10(1), 89–98. <https://doi.org/10.52561/teknika.v10i1.465>
- Umam, N. (2023). Rancang bangun alat pembentuk filamen 3D printer dari botol plastik merk Crystalin dan Club. Repository Universitas Diponegoro.
- Wirantara, R., Syamsiro, M., & Mulyanti, J. (2025). Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai filamen printer 3D dengan metode pultrusi. *Infotekmesin*, 16(1), 166–174. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v16i1.2467>
- Yusro, M., Diamah, A., Sakti, I., Regowo, B., Zuhdi, I., & Izuddin, A. (2021). Modul pembelajaran teori & praktek aplikasi IoT. *Sustainability (Switzerland)*.
- Zulkarnein, F. A., Pristiansyah, P., & Rollastin, B. (2025). Rancang bangun mesin pembuatan filamen 3D printing dari kemasan mineral. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 3(2), 472–477. <https://doi.org/10.33504/jitt.v3i2.309>