

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

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. Data tersebut menunjukkan bahwa limbah plastik masih menjadi salah satu penyumbang utama timbulan sampah nasional sehingga diperlukan upaya pemanfaatan kembali untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan (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 satu bentuk pemanfaatannya adalah mengolah botol PET menjadi material berbentuk filamen yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku pada proses pencetakan tiga dimensi (Akbar Zulkarnein et al., 2025).

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. Namun demikian, kesesuaian diameter saja belum dapat menunjukkan bahwa material telah memenuhi seluruh persyaratan sebagai filamen untuk proses pencetakan 3D. Kualitas filamen juga dipengaruhi oleh parameter lain, seperti kebulatan penampang, keseragaman diameter sepanjang filamen, kadar air, karakteristik termal, serta sifat mekanis material. Pada penelitian ini, evaluasi hasil filamen dibatasi pada pengukuran diameter dan massa filamen yang dihasilkan,

sedangkan pengujian sifat mekanis, sifat termal, kadar air, maupun karakterisasi material lainnya tidak dilakukan.

Proses pembentukan filamen dari lembaran botol PET dilakukan melalui tahapan pemanasan dan penarikan material secara kontinu. Pada proses tersebut, suhu *heat block* di sekitar *nozzle* merupakan salah satu parameter yang memengaruhi proses pelunakan material PET sebelum dibentuk menjadi material berbentuk filamen. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memantau suhu *heat block* di sekitar *nozzle* selama proses berlangsung. Selain itu, pemantauan visual proses dan pendeteksian keberadaan material berbentuk filamen juga diperlukan agar kondisi alat dapat diketahui tanpa pengguna harus terus berada di dekat alat selama proses pembentukan berlangsung.

Penelitian pertama dilakukan oleh Umam (2023) dengan judul “*Rancang Bangun Alat Pembentuk Filamen 3D Printer Dari Botol Plastik Merk Crystalin dan Club*”. Penelitian ini bertujuan mengembangkan alat yang mampu mengubah limbah botol plastik PET menjadi filamen untuk kebutuhan *3D printing* melalui proses pemotongan botol menjadi lembaran plastik dan pembentukan filamen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat yang dirancang mampu menghasilkan filamen dari limbah botol plastik PET. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum dilengkapi sistem pemantauan visual melalui jaringan lokal, sensor pendeteksi keberadaan material, maupun sistem notifikasi otomatis. Penelitian ini menjadi referensi dalam pengembangan alat pembentuk filamen berbasis limbah PET dengan penambahan fitur pemantauan yang lebih baik.

Penelitian kedua dilakukan oleh Prakoso et al. (2022) dengan judul “*Pemanfaatan Limbah Plastik Dalam Pembuatan Filamen 3D Printer Menggunakan Mesin Ekstrusi Pada Lab Konversi Energi Universitas Sriwijaya*”. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah plastik menjadi filamen melalui metode ekstrusi dengan terlebih dahulu mengolah plastik menjadi butiran sebelum diproses menjadi filamen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ekstrusi dapat digunakan untuk menghasilkan filamen dari limbah plastik. Akan tetapi, proses yang digunakan memerlukan tahapan tambahan berupa penghancuran plastik menjadi butiran sehingga proses pengolahan menjadi lebih kompleks. Selain itu, sistem yang dikembangkan belum menyediakan fasilitas pemantauan berbasis

IoT. Penelitian ini menjadi acuan dalam pengembangan sistem yang lebih sederhana dengan memanfaatkan lembaran PET secara langsung serta dilengkapi fitur pemantauan.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Santoso (2022) dengan judul “*Rekayasa Mesin Pembuat Filamen Dari Sampah Botol PET Untuk 3D Printing*”. Penelitian ini bertujuan merancang mesin pembuat filamen dari limbah botol PET dengan metode pemanasan dan penarikan lembaran plastik hingga membentuk filamen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah botol PET dapat diolah menjadi filamen menggunakan sistem yang dirancang. Namun, pengendalian dan pemantauan proses masih dilakukan secara lokal sehingga pengguna harus berada di dekat alat selama proses berlangsung. Selain itu, belum tersedia fitur notifikasi maupun pemantauan visual melalui jaringan lokal berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini menjadi dasar pengembangan alat yang dilengkapi sistem pemantauan berbasis IoT untuk meningkatkan kemudahan pengawasan proses daur ulang.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian berupa belum terintegrasinya sistem pembentukan material berbentuk filamen dari lembaran botol PET dengan sistem pemantauan suhu *heat block* di sekitar *nozzle*, pendeteksian keberadaan material berbentuk filamen, pemantauan visual proses, serta pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam satu prototipe. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi seluruh fungsi tersebut dalam satu sistem, bukan pada klaim peningkatan kualitas material berbentuk filamen yang dihasilkan. Untuk mewujudkan hal tersebut, penelitian ini 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 berfungsi mengelola sensor, aktuator, dan sistem pemantauan.

Informasi kondisi alat ditampilkan melalui LCD I2C 20×4 dan dipantau secara berkala melalui aplikasi Blynk menggunakan jaringan WiFi, sedangkan ESP32-CAM digunakan untuk pemantauan visual selama alat beroperasi. Sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi Blynk dan

pemantauan visual menggunakan ESP32-CAM berfungsi sebagai media pemantauan tambahan untuk membantu operator dalam memantau kondisi alat selama proses pembentukan material berbentuk filamen. Namun, sistem tersebut tidak menggantikan pengawasan langsung oleh operator. Selama alat beroperasi, operator tetap harus melakukan pengawasan terhadap prototipe sesuai dengan prosedur keselamatan yang telah ditetapkan.

Penelitian ini menghasilkan prototipe alat yang mampu mengolah lembaran botol PET menjadi material berbentuk filamen sekaligus menyediakan fasilitas pemantauan kondisi alat selama proses berlangsung. Evaluasi hasil filamen dibatasi pada pengukuran panjang, massa, dan diameter material yang dihasilkan. Selain itu, material berbentuk filamen diuji secara fungsional menggunakan mesin pencetakan 3D tipe FDM untuk memverifikasi bahwa material dapat melewati mekanisme *feeding*, diekstrusi melalui *nozzle*, dan menyelesaikan proses pencetakan objek kubus pada kondisi pengujian. Pengujian tersebut tidak mencakup evaluasi kualitas permukaan, akurasi dimensi, sifat mekanis, sifat termal, kadar air, adhesi antarlapis, maupun performa pencetakan jangka panjang.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Belum terintegrasinya sistem pemantauan suhu heat block di sekitar *nozzle*, pendeteksian material berbentuk filamen yang keluar dari *nozzle*, pemantauan visual, dan pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam satu prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET.
2. Proses pembentukan material berbentuk filamen memerlukan suhu operasi yang stabil serta mekanisme penarikan material sebagai parameter proses yang memengaruhi diameter material yang dihasilkan, dengan target diameter penelitian sebesar 1,75 mm.
3. Diperlukan prototipe alat yang mampu mengolah limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen melalui proses pemanasan, penarikan material, serta dilengkapi dengan fasilitas pemantauan kondisi alat selama proses pembentukan berlangsung.

4. Perlu dilakukan pengujian fungsi material berbentuk filamen yang dihasilkan untuk mengetahui apakah material dapat melewati mekanisme pemasukan (*feeding system*) dan *nozzle* pada mesin pencetakan 3D tipe FDM, tanpa melakukan evaluasi terhadap kualitas hasil cetak maupun performa filamen secara komprehensif.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, maka peneliti melakukan pembatasan masalah agar tidak melebar. Batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan limbah botol plastik berjenis Polyethylene Terephthalate (PET) yang dibatasi pada botol minuman merek Vit berkapasitas 1.500 mL sebagai bahan baku pembentukan material berbentuk filamen.
2. Botol plastik PET dipotong menjadi lembaran dengan lebar 9 mm sebelum diproses menjadi material berbentuk filamen.
3. Penelitian ini menggunakan satu botol plastik PET merek Vit berkapasitas 1.500 mL dalam satu proses produksi material berbentuk filamen.
4. Penelitian ini menggunakan suhu heat block yang ditargetkan sekitar 200 °C sebagai suhu operasi penelitian.
5. Sensor inframerah reflektif E18-D80NK digunakan untuk mendeteksi material berbentuk filamen yang keluar dari *nozzle* selama proses pembentukan berlangsung.
6. Penelitian ini dibatasi pada sistem pemantauan proses pembentukan material berbentuk filamen secara lokal menggunakan LCD I2C 20×4, pemantauan melalui aplikasi Blynk, serta pemantauan visual menggunakan ESP32-CAM.
7. Kinerja alat dievaluasi melalui pengujian fungsional setiap komponen, pengujian sistem yang telah terintegrasi, dan pengujian hasil pembentukan material berbentuk filamen.
8. Pengujian hasil pembentukan material berbentuk filamen dibatasi pada pengukuran massa botol sebelum diproses, massa lembaran PET yang

diproses, ketebalan lembaran PET, panjang material berbentuk filamen yang dihasilkan, massa material berbentuk filamen yang dihasilkan, diameter material berbentuk filamen, serta perhitungan kehilangan massa dan rendemen proses.

9. Penelitian ini menggunakan diameter target 1,75 mm sebagai acuan perancangan. Evaluasi diameter dibatasi pada pengukuran diameter pada satu titik dan satu arah penampang melintang material berbentuk filamen, sehingga tidak mencakup analisis keseragaman diameter, kebulatan (*roundness*), simpangan baku, maupun distribusi diameter sepanjang material.
10. Penelitian ini melakukan pengujian fungsi pencetakan sebanyak tiga kali menggunakan mesin pencetakan 3D tipe FDM Ender 3 Max dengan diameter *nozzle* 0,4 mm dan objek uji berbentuk kubus. Pengujian tersebut hanya bertujuan untuk memastikan material berbentuk filamen dapat melalui proses pengumpanan dan pencetakan dasar, serta tidak mencakup evaluasi kualitas hasil cetak maupun pengujian sifat mekanis, sifat termal, kadar air, kekuatan tarik, dan karakterisasi material lainnya.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut: Bagaimana merancang, membangun, dan menguji kinerja alat daur ulang limbah botol plastik menjadi filamen 3D printing?

1.5. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja prototipe alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen. Pengujian dilakukan terhadap fungsi setiap komponen, integrasi sistem, pemantauan suhu *heat block* di sekitar *nozzle*, pendeteksian material berbentuk filamen, pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT), serta hasil pembentukan material berdasarkan massa material yang diproses, panjang material berbentuk filamen, rendemen proses, dan diameter material berbentuk filamen pada satu titik

pengukuran. Selain itu, dilakukan uji fungsi pencetakan sebanyak tiga kali menggunakan mesin pencetakan 3D untuk memverifikasi bahwa material berbentuk filamen dapat melalui proses pengumpanan dan pencetakan dasar. Pengujian tersebut tidak bertujuan untuk mengevaluasi kualitas hasil cetak maupun performa material secara komprehensif.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu:

1. Manfaat Teoretis

- a. Menambah referensi ilmiah mengenai perancangan dan pengembangan prototipe laboratorium alat daur ulang limbah botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menjadi material berbentuk filamen.
- b. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler yang mengintegrasikan sistem pemanas, mekanisme penarikan material, sensor, serta sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT).
- c. Menjadi referensi akademik bagi Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Universitas Negeri Jakarta dalam pengembangan penelitian di bidang sistem kendali, instrumentasi, otomasi, dan teknologi daur ulang plastik.

2. Manfaat Praktis

- a. Menghasilkan prototipe laboratorium alat daur ulang limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen.
- b. Memberikan alternatif awal pemanfaatan limbah botol plastik PET menjadi material berbentuk filamen melalui proses penarikan termal (*thermal drawing*).
- c. Menyediakan sistem pemantauan proses pembentukan material berbentuk filamen secara lokal menggunakan LCD, pemantauan data melalui aplikasi Blynk, serta pemantauan visual menggunakan ESP32-CAM selama alat beroperasi.
- d. Menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan alat daur ulang limbah botol plastik PET, termasuk pengembangan metode

pembentukan material, peningkatan kestabilan proses, serta evaluasi karakteristik material hasil pembentukan secara lebih komprehensif.

