

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah plastik, terutama plastik sekali pakai telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan global yang sangat serius. Penggunaan plastik, khususnya jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*), telah meningkat pesat dalam beberapa dekade terakhir. Menurut penelitian yang dilakukan Wiswamitra et al (2022) peningkatan konsumsi plastik ini disebabkan oleh sifatnya yang ringan, tahan lama, dan ekonomis, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama kemasan sekali pakai. Menurut Hopewell et al. (2009) plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan salah satu komponen utama dalam produk plastik sekali pakai, terutama botol minuman, dan menjadi salah satu permasalahan lingkungan terbesar di seluruh dunia. Setiap tahun, lebih dari 300 juta ton plastik diproduksi, dengan sebagian besar berakhir sebagai limbah yang mencemari lingkungan. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah keterbatasan solusi dalam daur ulang plastik PET secara efisien dan berkelanjutan. PET merupakan jenis plastik yang sangat sulit didaur ulang secara efisien, yang menyebabkan semakin banyaknya sampah plastik di lingkungan dan berdampak buruk terhadap ekosistem (Sarda et al. 2021). Selain itu, botol PET memerlukan waktu lebih dari 400 tahun untuk terurai di alam, sehingga solusi daur ulang yang berkelanjutan menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.

Seiring berjalannya waktu kesadaran akan dampak lingkungan dari plastik sekali pakai pun meningkat (Nielsen et al. 2019). Upaya untuk mengurangi penggunaan plastik baru melalui daur ulang semakin mendapatkan perhatian. *Polyethylene Terephthalate* (PET) memiliki potensi besar sebagai bahan baku alternatif karena sifat mekaniknya yang kuat dan daya tahan yang baik. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Utomo et al. (2023) limbah *Polyethylene Terephthalate* (PET) dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan nanokomposit, semen mortar, dan aspal. Penggunaan limbah PET daur

ulang (rPET) pada nanokomposit terbukti mampu meningkatkan beberapa sifat material, seperti konduktivitas termal (dengan penambahan GNPs), stabilitas termal (melalui CATAS dan GNPs), modulus penyimpanan (CATAS dan GNPs), serta kekuatan tarik dan kekerasan (dengan CNTs). Dalam pembuatan semen mortar, penambahan limbah PET secara signifikan meningkatkan *flowability* seiring dengan bertambahnya jumlah limbah PET yang digunakan. Namun, densitas kering (*dry density*) cenderung menurun seiring dengan peningkatan persentase PET dalam campuran. Nilai densitas yang dihasilkan, yaitu kurang dari 1850 kg/m³, menunjukkan bahwa semen mortar berbahan limbah plastik PET dapat diproduksi dan digunakan untuk keperluan struktural.

Namun, meskipun daur ulang plastik PET telah dilakukan, tantangan besar tetap ada dalam efisiensi proses daur ulang, karena PET termasuk jenis plastik yang sulit didaur ulang secara efisien (Torontech, 2024). Hal ini menuntut perlunya pengembangan solusi alternatif baru dalam pemanfaatan kembali limbah PET untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan. Salah satu solusi alternatif yang menarik adalah memanfaatkan botol PET bekas sebagai bahan baku filamen untuk teknologi pencetakan 3D, yang kini semakin populer dalam industri manufaktur. Dengan menggunakan limbah plastik PET yang sudah ada, pendekatan ini tidak hanya mengurangi akumulasi sampah plastik yang sulit terurai di alam, tetapi juga mengurangi kebutuhan akan plastik baru yang umumnya memerlukan sumber daya alam yang berharga. Proses daur ulang PET untuk menghasilkan filamen tidak hanya memberikan keuntungan lingkungan dalam mengurangi jejak karbon dan sampah plastik, tetapi juga menawarkan potensi ekonomi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan bahan baku plastik baru. Pendekatan ini juga membuka peluang untuk inovasi dalam pengelolaan sampah plastik secara lebih efisien dan berkelanjutan, yang sangat diperlukan dalam menghadapi krisis lingkungan global yang semakin parah (Kuo et al. 2020).

Teknologi pencetakan 3D, khususnya *Fused Deposition Modeling* (FDM), telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, dengan semakin banyak industri yang mengadopsi teknologi ini untuk prototyping, produksi komponen, dan aplikasi lainnya. Industri filamen untuk 3D printing sendiri mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, dengan permintaan yang semakin meningkat dari

sektor-sektor seperti otomotif, kedirgantaraan, dan medis (Kuo et al. 2020). Filamen pencetakan 3D umumnya diproduksi dari bahan-bahan seperti PLA (*Polylactic Acid*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), dan PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), namun penggunaan limbah PET bekas untuk pembuatan filamen merupakan solusi yang dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan baku plastik baru dan memberikan solusi terhadap masalah limbah plastik.

Pemilihan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan baku filamen untuk pencetakan 3D lebih unggul dibandingkan penggunaannya sebagai bahan tambahan dalam pembuatan nanokomposit, semen mortar, dan aspal karena beberapa alasan utama. PET memiliki sifat mekanik yang sangat baik, seperti kekuatan tarik dan ketahanan terhadap keausan, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi pencetakan 3D yang memerlukan presisi tinggi dan kekuatan struktural. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Aryanto et al. (2023), filamen PET memiliki kestabilan termal dan kekuatan sifat mekanik yang memadai, menjadikannya material yang andal dalam teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). Selain itu, PET adalah plastik yang sangat tersedia dan banyak digunakan, yang membuatnya menjadi sumber daya yang ekonomis dan ramah lingkungan, terutama ketika digunakan dalam bentuk daur ulang sebagai filamen untuk 3D printing. Keunggulannya dalam kemampuan cetak yang tinggi dan potensi untuk mengurangi limbah plastik menjadi alasan mengapa PET lebih dipilih untuk aplikasi filamen dibandingkan dengan pemanfaatannya dalam pembuatan nanokomposit atau aspal, yang mungkin membutuhkan modifikasi lebih lanjut agar dapat meningkatkan kinerja bahan tersebut dalam aplikasi konstruksi.

Berdasarkan penelitian terkait yang dilakukan oleh Awaja et al. (2005) membahas tentang daur ulang *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk produksi filamen. Penelitian ini mengkaji berbagai metode daur ulang PET, mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam proses tersebut, dan bagaimana limbah PET dapat dimanfaatkan untuk membuat filamen yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pencetakan 3D. Penelitian ini memberikan wawasan tentang potensi daur ulang PET dalam industri filamen serta dampaknya terhadap efisiensi biaya dan keberlanjutan hidup.

Penelitian yang dilakukan oleh Aryanto et al. (2023), dimana penelitian ini berfokus pada pengaruh suhu dan kekuatan material PET dalam proses ekstrusi filamen untuk pencetakan 3D. Dengan melakukan analisis terhadap proses ekstrusi, penelitian ini berupaya menemukan pengaturan suhu yang optimal untuk menghasilkan filamen PET yang memiliki kualitas tinggi, baik dari segi kekuatan tarik maupun konsistensi ukuran. Temuan dalam penelitian ini penting untuk meningkatkan kualitas filamen PET daur ulang untuk aplikasi pencetakan 3D.

Penelitian selanjutnya, dilakukan oleh Taufik et al. (2023), penelitian ini mengembangkan dan merancang mesin pultrusi untuk produksi filamen 3D berbasis limbah plastik botol PET. Pultrusi adalah metode pembuatan filamen yang relatif baru, di mana material disusun melalui proses pemanasan dan pengepresan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam desain dan implementasi mesin pultrusi untuk pembuatan filamen PET, dengan tujuan meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi dalam penggunaan plastik bekas untuk kebutuhan pencetakan 3D.

Kemudian, Penelitian yang dilakukan oleh Luthfianto et al. (2023) berfokus pada perancangan mesin extruder untuk produksi filamen 3D dari limbah plastik PET. Mesin extruder digunakan untuk mencairkan dan membentuk material plastik menjadi filamen yang siap digunakan dalam pencetakan 3D. Penelitian ini juga mencakup simulasi uji tarik untuk menilai kekuatan sifat mekanik filamen PET, yang penting untuk menentukan daya tahan dan kinerja filamen dalam aplikasi nyata.

Penelitian terakhir dilakukan oleh Ibrahim et al. (2024) yang merupakan tinjauan sistematis tentang kinerja teknis dan keberlanjutan filamen 3D yang menggunakan plastik daur ulang, termasuk PET. Penelitian ini mengidentifikasi dan membahas berbagai aspek teknis dari filamen daur ulang, seperti kekuatan sifat mekanik, ketahanan termal, dan kualitas permukaan. Selain itu, jurnal ini juga mengevaluasi dampak lingkungan dan potensi keberlanjutan dari penggunaan plastik daur ulang dalam produksi filamen 3D, memberikan wawasan penting bagi perkembangan teknologi dan industri ini ke depannya.

Hal yang sama menjadi pertimbangan yaitu pembuatan dengan metode ekstrusi. Metode ekstrusi dalam pembuatan filamen PET adalah proses di mana plastik PET yang telah dileburkan dipaksa melalui cetakan untuk membentuk

bentuk panjang dan tipis, yang kemudian didinginkan dan dipotong menjadi filamen. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Smith (2020) metode ekstrusi merupakan teknik yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan filamen karena kemampuannya untuk menghasilkan filamen dengan toleransi dimensi yang konsisten, serta memungkinkan integrasi bahan tambahan atau pengubah sifat sesuai kebutuhan.

Pada umumnya mesin ekstruder atau ekstrusi adalah sebuah mesin pencetakan yang cara kerjanya cukup mudah yaitu cukup menekan plastik yang kemudian dipanaskan pada suhu tinggi yang kemudian didorong ke arah nozel dan hasilnya berupa benang (Mahfud et al. 2020). Ekstruder termoplastik merupakan sebuah alat yang digunakan dalam proses ekstrusi atau mengubah bentuk cacahan plastik menggunakan temperatur tinggi dalam proses peleburan limbah plastik yang selanjutnya dibentuk kembali dengan cetakan/*moulding* menjadi suatu bentuk cetakan yang dibutuhkan (Hanafi et al. 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Seibert et al. (2022) yaitu menganalisis proses ekstrusi serpihan botol PET daur ulang menjadi filamen dengan mempertimbangkan berbagai parameter ekstrusi. Hasilnya menunjukkan bahwa filamen yang diproduksi dari PET daur ulang dapat digunakan dalam pencetakan 3D. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Schneevogt et al. (2021) dimana penelitian ini mengeksplorasi potensi sifat mekanik dari filamen PET daur ulang dalam teknologi pencetakan 3D, hasilnya menunjukkan bahwa filamen yang diproduksi dari PET daur ulang memiliki sifat yang sebanding dengan filamen komersial.

Akan tetapi, dalam proses ekstrusi filamen PET terdapat ketidakstabilan yang sering terjadi akibat mesin yang tidak terkontrol dengan baik (Kevin et al. 2023).. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan penggulung manual dengan putaran yang tidak konsisten yang dapat memengaruhi kualitas filamen yang dihasilkan. Ketidakstabilan ini berdampak pada keseragaman diameter dan kekuatan sifat mekanik filamen, yang penting untuk aplikasi pencetakan 3D yang presisi.

Menurut Setiyawan & Ngadiyono (2020) dalam Azmi et al. (2024) Botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) memiliki berbagai sifat mekanik yang unggul, seperti kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia, dan stabilitas

termal yang baik. Sifat-sifat ini membuat PET sangat potensial sebagai bahan dasar untuk pembuatan Filamen 3D *printing*, karena memungkinkan Filamen yang dihasilkan memiliki daya tahan yang baik terhadap stres sifat mekanik, suhu tinggi, dan reaksi kimia. Oleh karena itu, PET memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan dasar pembuatan filamen 3D *printing*. Salah satu metode yang efektif untuk mengubah botol bekas menjadi filamen PET adalah dengan metode pultrusi. Metode pultrusi memungkinkan botol bekas berubah bentuk menjadi filamen yang dapat digunakan dalam teknologi cetak 3D untuk berbagai industri (Hopewell et al. 2009).

Metode pultrusi adalah proses pembuatan filamen yang melibatkan penarikan bahan melalui cetakan pemanas untuk membentuk filamen dengan diameter yang seragam. Proses ini menghasilkan filamen dengan kualitas tinggi dan konsistensi dimensi yang lebih baik dibandingkan metode ekstrusi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Taufik et al. (2023), penggunaan metode pultrusi dalam pembuatan filamen PET menghasilkan filamen dengan diameter seragam dan permukaan halus, yang penting untuk kualitas cetakan 3D yang optimal.

Keunggulan metode pultrusi dibandingkan ekstrusi terletak pada kemampuannya menghasilkan filamen dengan konsistensi dimensi yang lebih baik dan kualitas permukaan yang lebih halus. Hal ini dikarenakan proses pultrusi memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap diameter filamen dan suhu pemrosesan, sehingga menghasilkan filamen dengan sifat mekanik yang lebih stabil dan dapat diandalkan untuk aplikasi pencetakan 3D. Penelitian oleh Taufik et al. (2023) menunjukkan bahwa filamen yang dihasilkan melalui metode pultrusi memiliki diameter seragam dan permukaan halus, yang berkontribusi pada kualitas cetakan 3D yang lebih baik.

Penelitian dari Taufik et al. (2023) juga telah membuat perancangan dan perhitungan menggunakan aplikasi *autodesk fusion 360* diperoleh mesin pultrusi yang digunakan sebagai mesin pembuat filamen berbahan dasar PET menggunakan beberapa komponen utama seperti arduino uno mega 2560, stepper motor nema 17,udukan alat, kotak penggulungan, nozzle 1.60 mm, blok pemanas hingga komponen lainnya yang dirakit menjadi satu bagian sehingga dapat berfungsi

dengan baik. Mesin pultrusi ini dapat memproduksi filamen dengan hasil rata-rata pengukuran diameter sebesar 1.72 mm.

Hal ini menunjukkan bahwa pultrusi memiliki keunggulan dalam menghasilkan filamen PET yang berkualitas tinggi dibandingkan dengan metode ekstrusi. Pada proses ekstrusi, PET mengalami penurunan kualitas karena melewati proses peleburan yang berulang kali dimana dapat mengurangi kekuatan sifat mekaniknya, sementara pada proses pultrasi PET hanya mengalami proses peleburan satu kali sehingga kualitas sifat mekaniknya masih tetap terjaga.

Untuk menciptakan Filamen harus menyesuaikan standar dan kualitas yang sudah ada dan menjadi patokan di seluruh dunia, penelitian ini menggunakan standar ISO 527-2:2012 atau ASTM D638-14, dengan diameter Filamen yang dimiliki *3D printing* harus konsisten dan stabil dengan toleransi $\pm 0,05\text{mm}$, dengan tingkat lingkaran minimal 95%, kekuatan tarik minimal 40MPa, dan terbebas dari kontaminasi dari luar dan dari dalam.

Industri manufaktur dan pencetakan 3D terus berkembang pesat dengan meningkatnya permintaan terhadap filamen yang berkualitas tinggi terutama untuk aplikasi pencetakan 3D (Nugroho et al). Salah satu bahan yang sangat sering digunakan dalam pembuatan filamen yaitu plastik, khususnya plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang umumnya berasal dari botol bekas. Meskipun demikian, kualitas dan sifat mekaniknya filamen yang dihasilkannya dari pultrusi PET botol bekas belum banyak dikaji. Sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus terhadap filamen yang dihasilkan melalui proses ekstrusi. Oleh karena itu masih belum jelas apakah filamen dari pultrusi PET dapat bersaing dengan filamen yang sudah banyak beredar di pasar.

Kurangnya standar yang jelas dan konsisten terkait kualitas filamen PET dari limbah plastik juga menjadi hambatan. Standar kualitas yang tidak konsisten dapat mempengaruhi daya saing dan keandalan produk filamen PET di pasar (Jayasuriya et al. 2020). Hal ini juga menghambat penggunaan PET bekas sebagai bahan baku yang berkelanjutan untuk industri pencetakan 3D.

Masih kurangnya penelitian serupa mendorong peneliti untuk melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik filamen yang dihasilkan termasuk sifat fisik, sifat mekanik, serta kestabilannya

dalam proses pencetakan 3D. Meskipun terdapat potensi yang besar, penelitian mengenai penggunaan botol plastik PET bekas sebagai bahan baku untuk filamen 3D printing melalui proses pultrusi masih sangat terbatas. Penggunaan pultrusi sebagai metode untuk menghasilkan filamen PET bekas belum banyak diterapkan dalam industri pencetakan 3D (Rai et al. 2018). Oleh karena itu, pengembangan penelitian lebih lanjut di bidang ini sangat penting untuk membuka peluang baru dalam penggunaan limbah PET secara berkelanjutan. Dengan mengembangkan metode yang optimal untuk produksi Filamen dari botol bekas PET, diharapkan dapat memberikan solusi berkelanjutan untuk pengurangan limbah plastik. Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“Karakteristik Filamen 3D Printing Pultrusi Botol Bekas Berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET)”**.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah di buat, peneliti mengidentifikasi beberapa masalah, yaitu :

1. Penggunaan plastik yang terus meningkat dengan pesat sehingga diperlukan solusi alternatif yang baru.
2. Keterbatasan solusi daur ulang yang efisien dan berkelanjutan terhadap plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sehingga menyebabkan kerusakan ekosistem dan lingkungan.
3. Filamen PET dapat dihasilkan melalui proses daur ulang menggunakan metode ekstrusi dan pultrusi. Namun metode ekstrusi memiliki kelemahan dalam mempertahankan kualitas sifat mekaniknya, sementara metode pultrusi memiliki kelebihan dalam menghasilkan filamen dengan konsistensi dimensi yang lebih baik, serta permukaan yang lebih halus.
4. Ketidakstabilan dalam proses ekstrusi menggunakan mesin yang tidak terkontrol dengan baik dan belum sempurna (penggunaan penggulung manual yang putarannya tidak konsisten).
5. Kurangnya standar yang jelas dan konsisten terkait kualitas filamen PET dari limbah bahan plastik.

6. Karakterisasi sifat mekanik dan termal dari Filamen hasil pultrusi PET botol bekas masih jarang dikaji dan dibuktikan apakah bisa bersaing dengan filamen yang beredar di pasaran.
7. Kebutuhan untuk mengembangkan metode produksi Filamen yang lebih ramah lingkungan.
8. Kurangnya penelitian mengenai penggunaan botol plastik bekas PET sebagai bahan baku filamen 3D *printing* melalui proses pultrusi dan belum banyak di aplikasikan di bidang 3D *printing*.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian lebih sistematis dan terfokus, maka peneliti memberikan beberapa batasan pada beberapa aspek, yaitu :

1. Pembuatan filamen dari botol bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dilakukan menggunakan metode pultrusi.
2. Penggunaan filamen hasil pultrusi botol bekas berbahan PET dalam aplikasi pencetakan objek tiga dimensi menggunakan 3D *printing*.
3. Analisis filamen hasil daur ulang menggunakan metode pultrusi dari botol bekas berbahan PET.
4. Aplikasi filamen berbahan PET hasil daur ulang melalui teknik pultrusi pada proses 3D *printing*.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang sudah di jelaskan, peneliti membuat perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu : “Bagaimana karakteristik sifat mekanik dan termal dari Filamen hasil pultrusi botol bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) ?”.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Pembuatan filamen 3D *printing* dari botol bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) melalui teknik pultrusi.
2. Mengkarakterisasi sifat mekanik dan termal filamen yang dihasilkan dari proses pultrusi botol bekas berbahan PET.

3. Menganalisis potensi penggunaan filamen hasil pultrusi PET bekas dalam aplikasi pencetakan objek tiga dimensi menggunakan printer 3D *Fused Deposition Modeling* (FDM).

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Menambah referensi penelitian terkait Filamen 3D *Printing* dari botol bekas berbahan dasar *Polyethylene Terephthalate* (PET).
2. Mengetahui karakteristik sifat mekanik, termal, dan kelayakan cetak Filamen.
3. Menyumbang informasi baru dan menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian serupa di masa mendatang.

