

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM OTOMASI PENGERING
PADA ALAT DAUR ULANG PET MENJADI
FILAMEN *3D PRINTING***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

JENAR JAWARA PUTRA ALAM

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM OTOMASI PENGERING
PADA ALAT DAUR ULANG PET MENJADI
FILAMEN *3D PRINTING***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh
JENAR JAWARA PUTRA ALAM
NIM. 2115234041

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Permasalahan sampah plastik Polietilena tereftalat (PET) yang terus berkembang membutuhkan solusi daur ulang yang lebih baik dan mudah diakses. Saat ini, proses pengolahan limbah PET menjadi filamen *3D printing* melibatkan proses bertahap yang menggunakan rangkaian mesin terpisah yang dioperasikan secara manual untuk pencacahan, pengeringan, dan ekstrusi. Proses ini membutuhkan tenaga kerja manual signifikan dan dapat menurunkan kualitas produk akhir. Penelitian ini menjawab permasalahan tersebut dengan menyajikan perancangan sebuah mesin tunggal terintegrasi oleh sebuah sistem otomasi. Rancangan mesin ini berupa sistem vertikal bertingkat yang memanfaatkan gravitasi untuk memindahkan material antar modul. Meskipun modul pencacah dan ekstruder mengadopsi desain *open-source* yang telah teruji, inovasi utama berupa modul pengeringan kustom yang bekerja secara otomatis. Komponen ini sangat penting untuk menurunkan kadar air PET hingga standar industri 0,02%, yang menjadi kunci untuk menghasilkan filamen berkualitas tinggi. Hasil simulasi kinerja alat menunjukkan bahwa proses pengeringan untuk *batch* 1 kg membutuhkan waktu sekitar 34,2 jam. Meskipun memiliki durasi yang panjang, mesin ini dirancang untuk dapat beroperasi secara mandiri tanpa pengawasan langsung. Kepraktisan desain ini didukung oleh proyeksi biaya operasional yang efisien, yaitu sekitar Rp 61.000 per kg. Kombinasi antara otomasi dan biaya rendah ini menjadikan rancangan ini solusi yang tepat dan praktis untuk daur ulang skala kecil hingga menengah di lingkungan seperti laboratorium universitas, bengkel kerja, dan berbagai komunitas.

Kata Kunci: *daur ulang, plastik PET, filamen 3D Printing, modul pengeringan*

DESIGN AND ANALYSIS OF AN AUTOMATED MACHINE FOR RECYCLING PET PLASTIC INTO 3D PRINTING FILAMEN

ABSTRACT

The growing problem of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste requires better and more accessible recycling solutions. Currently, turning PET waste into 3D printing filament involves a multi-stage process using separate, manually-operated machines for shredding, drying, and extrusion. This approach requires significant manual labor and can lower the quality of the final product. This research addresses that problem by presenting the design of a single, fully automatic machine that requires minimal user input. The machine's design is a vertical, stacked system that uses gravity to move material between its modules. While the shredder and extruder modules are based on proven open-source designs, the core innovation is a custom-built, automated drying module. This component is critical for reducing the PET's moisture content to the 0.02% industry standard, which is essential for producing high-quality filament. Simulation results show that the drying process for a 1 kg batch takes approximately 34.2 hours. While this time is long, the machine is designed for unattended operation. Its practicality is justified by an efficient projected operational cost of only ~Rp 61,000 per kg. This combination of automation and low cost makes the design a fitting and practical solution for small to medium-scale recycling in places like university labs, workshops, and community makerspaces.

Keywords: recycling, PET plastic, 3D Printing filamen. Drying module

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan Umum.....	3
1.4.2 Tujuan Khusus.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 3D <i>Printing</i>	5
2.2 Material untuk 3D <i>Printing</i>	6
2.3 PET (Polietilena tereftalat)	6
2.4 Upaya Pemberdayaan Ulang PET	7
2.5 Metode Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Filamen 3D <i>Printing</i>	9
2.6 Pengaruh Kelembapan PET Sebagai Filamen 3D <i>Printing</i>	13
2.7 Kalkulasi Proses Pengeringan.....	15
2.7.1 Perhitungan Beban Pengeringan Total	15

2.7.2 Difusi Internal	16
2.7.3 Transfer Massa Konvektif Eksternal	17
2.8 Silika Gel Sebagai Media Pengering	18
2.9 Analisis Penurunan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>).....	18
2.10 Analisis Termodinamika untuk Pemilihan Pemanas	20
2.10.1 Pemanasan Fluida Bergerak (Konveksi Paksa)	20
2.10.2 Pemanasan Massa Stasioner dengan Perubahan Fasa.....	21
2.11 Otomatisasi dengan MCU.....	22
2.12 Topologi Komunikasi RS485	22
2.13 Instrumen dan Simulasi Pemrograman	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Alur Penelitian	26
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.4 Instrumen Penelitian	29
3.5 Metodologi Validasi Desain.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Proses Desain Awal.....	31
4.2 Pemilihan dan Desain Modul Pencacah (<i>Shredder</i>)	34
4.3 Pemilihan dan Integrasi Modul Ekstruder	36
4.4 Perancangan dan Analisis Modul Pengeringan Kustom	37
4.4.1 Ruang Pengering (<i>Drying Chamber</i>)	39
4.4.2 Alas Pengering (<i>Drying Bed</i>)	39
4.4.3 Pemilih Kartrid Silika (<i>Silica Selector</i>).....	39
4.4.4 Kartrid Silika (<i>Silica Cartridges</i>).....	39
4.4.5 Katup Pelepas Udara (<i>Relief Air Gate</i>)	41
4.4.6 Blower dan Pemanas	41
4.5 Gambaran Umum Desain Akhir	44
4.6 Validasi Kinerja Modul Pengering Melalui Simulasi	46
4.7 Arsitektur Kelistrikan dan Panel Kontrol	49
4.8 Logika Kontrol dan Otomasi Multi-MCU	50

4.9 Rincian Logika MCU dan Alur Kerja Otomatis	51
4.10 Proyeksi Kelayakan Pasca Fabrikasi	54
4.11 Strategi Fabrikasi dan Perakitan	57
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan.....	29
Tabel 4.1 Blower Calculation.....	43
Tabel 4.2 Proyeksi Waktu Proses untuk Batch 1 kg.....	54
Tabel 4.3 Estimasi Penggunaan Energi Per Batch	56
Tabel 4.4 Estimasi Biaya Modal Fabrikasi Dengan Part Baru.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 3D Printer Model FDM.....	5
Gambar 2.2 Kode Identifikasi PET dan Alternatifnya	7
Gambar 2.3 Struktur Molekul PET	7
Gambar 2.4 Reaksi PET Akan Stres Panas dan Katalis	9
<i>Gambar</i> 2.5 Kode Identifikasi PET pada Botol.....	10
Gambar 2.6 Visualisasi Hasil Pencacahan Menurut Ukurannya.....	10
Gambar 2.7 Mesin Pencacah.....	11
Gambar 2.8 Skematis Mesin Ekstrusi Filamen.....	12
Gambar 2.9 Filastruder.....	12
Gambar 2.10 Filawinder.....	13
Gambar 2.11 Microcontroller Unit.....	22
Gambar 2.12 Twisted Pair Cable.....	23
Gambar 2.13 Diagram Topologi Bus Half-Duplex	23
Gambar 2.14 Diagram Topologi Bus Full-Duplex.....	24
Gambar 2.15 Logo Wokwi.....	25
Gambar 3.1 Draft Rancangan Alat	26
Gambar 3.2 Flowchart Alur Pelaksanaan.....	28
Gambar 4.1 Konsep Desain Boks Bergerak.....	32
Gambar 4.2 Skema Konsep Desain Jatuh Bebas	33
Gambar 4.3 Konsep Awal Desain Pencacah Progresif.....	34
Gambar 4.4 Inisiatif Global Precious Plastic	35
Gambar 4.5 Diagram Siklus Aliran Udara pada Proses Pengeringan Otomatis dengan Kartrid Ganda	38
Gambar 4.6 Desain Akhir Pandangan Isometrik.....	45
Gambar 4.7 Desain Akhir Mesin Daur Ulang Filamen.....	45
Gambar 4.8 Simulasi Pengeringan 1kg PET Hingga Kelembapan 0.02%	48
Gambar 4.9 Alur Flowchart Fabrikasi.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah sudah menjadi permasalahan yang tidak pernah mendapat suatu solusi pasti. Salah satu jenis sampah yang dapat kita temui dengan jumlah yang banyak adalah sampah plastik. Menurut data dari *The Indonesia Olefin, Aromatic, and Plastics Industry Association* (INAPLAS), konsumsi negara akan plastik berada pada 17 kg/kapita/tahun, dan sekitar 40 tas plastik per kapita/tahun (Circular, 2023). Walaupun ada banyaknya jenis plastik yang diproduksi, jenis yang paling mudah ditemui adalah PET (Polietilena tereftalat).

Polietilena tereftalat atau biasa disebut PET atau PETE adalah jenis polimer termoplastik nomor tiga yang cakupannya paling tersebar pada pasaran (Nisticó, 2020). Dengan transparansinya yang luar biasa, ringan, sifat penghalang gas dan air, ketahanan akan kekuatan dampak, resistansi U, dan tak terpecahkan (dibandingkan botol kaca) (Benyathiar, et al., 2022) membuatnya menjadi pilihan material yang mencakupi 64% sebagai bahan pembuatan botol minum air, minuman energi, teh, dan kopi. Banyaknya penggunaan PET tersebut menimbulkan situasi tumpang tindih akan penanganan material tersebut pasca penggunaan.

Beberapa penanganan pasca-pakai sampah PET telah dilaksanakan, namun dengan biaya yang tinggi dan kesulitan akan implementasi dalam skala besar. Kementerian Perindustrian mencatat bahwa tingkat daur ulang plastik pada tahun 2019 adalah sekitar 14% (Ismawati, et al., 2022). Suatu cara sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin untuk ikut andil dalam permasalahan ini adalah untuk menghasilkan sebuah solusi akan penggunaan ulang sampah tersebut. Dengan banyaknya tahap pembelajaran Jurusan Teknik mesin berhubungan dengan pembuatan prototipe dan uji coba, yang mana dibutuhkannya material dapat digunakan kembali. Menggunakan plastik daur ulang dalam *3D Printing* menawarkan manfaat lingkungan yang substansial, termasuk potensi pengurangan limbah dan konsumsi energi (Hassan, et al., 2024).

Beberapa penelitian sudah dilaksanakan akan konversi sampah PET menjadi filamen *3D Printing* tersebut, dengan menggunakan berbagai alat dan mesin. Terdapat 4 langkah pada proses tersebut, pertama adalah pengumpulan sampah tersebut. Dalam proses ini penting untuk filtrasi sampah tersebut agar hanya sampah PET saja yang ada pada kumpulan sampah tersebut, selain itu juga sampah PET tersebut harus berbentuk serpihan kecil dengan ukuran optimal sekitar 7mm. Lalu serpihan (*serpihan*) tersebut perlu dilaksanakan pengeringan demi menjaga sebagian besar kualitas bahannya. Setelah itu serpihan tersebut dialirkan ke dalam mesin ekstrusi, dimana serpihan tersebut akan dilebur dan di ekstrusi keluar lubang dari tabung kecil, lubang dari tabung tersebut menjadi ukuran yang diinginkan akan ketebalan filamen. Akhirnya luaran akan mesin ekstrusi tersebut akan di gulung (*looming*) menjadi gulungan filamen yang siap digunakan pada 3D Printer.

Berbagai penelitian dan praktik daur ulang PET menjadi filamen telah dilakukan, namun prosesnya masih bergantung pada penggunaan beberapa mesin terpisah yang membutuhkan intervensi manual. Serpihan plastik harus dipindahkan secara manual dari mesin pencacah ke unit pengering, lalu dipindahkan lagi ke mesin ekstruder. Pendekatan yang terfragmentasi ini menciptakan kesenjangan (*gap*) utama: proses menjadi tidak efisien, padat karya, dan rentan terhadap inkonsistensi kualitas akibat risiko kontaminasi atau penyerapan kembali kelembapan saat material dipindahkan.

Maka dari itu, penelitian ini berfokus untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan merancang sebuah alat tunggal yang mengintegrasikan seluruh tahapan proses secara otomatis. Dengan menggabungkan fungsi pencacahan, pengeringan, dan ekstrusi dalam satu sistem yang bekerja secara mandiri, penelitian ini menawarkan sebuah solusi untuk menyederhanakan proses daur ulang secara signifikan. Hal ini bertujuan agar proses daur ulang menjadi lebih efisien dan dapat diakses oleh lingkup pengguna yang lebih luas seperti laboratorium atau institusi pendidikan.

1.2 Rumusan Masalah

Pengolahan plastik PET menjadi filamen *3D Printing* dapat menjadi usaha akan mengurangi limbah plastik. Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan beberapa pertanyaan penelitian yang harus dijawab:

1. Bagaimana merancang alat daur ulang plastik PET menjadi filamen *3D Printing*?
2. Bagaimana sistem kontrol yang dibutuhkan untuk otomatisasi rancangan alat daur ulang plastik PET menjadi filamen *3D Printing*?
3. Bagaimana hasil simulasi perancangan program otomasi alat daur ulang?

1.3 Batasan Masalah

1. Rancangan alat dapat menggunakan modul atau sistem yang sudah tersedia sesuai standar, jika pertimbangan tersebut dapat memaksimalkan hasil rancangan akhir.
2. Perancangan sistem kontrol otomatisasi dibatasi pada alur proses yang dimulai dari saat PET dimasukkan sebagai *input* ke modul pencacah dan berakhir setelah filamen selesai diekstrusi. Otomatisasi tidak meliputi proses pemilahan sampah di awal atau penyaringan pasca pengolahan.
3. Validasi kinerja rancangan dilakukan secara teoretis melalui simulasi proses dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini dibatasi hanya pada tahapan perancangan dan analisis, tidak termasuk tahap konstruksi fisik alat atau pengujian kinerja mesin di dunia nyata.

1.4 Tujuan Penelitian

Harapan luaran riset ini terdiri berdasarkan tujuan umum dan khusus; harapan capaian tersebut meliputi:

1.4.1 Tujuan Umum

1. Memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan Pendidikan Diploma IV Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas Politeknik Negri Bali.

2. Aplikasi akan pengetahuan yang diperoleh melalui kurikulum perkuliahan.
3. Mempresentasikan suatu satu konsep inovatif.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Dapat merancang alat daur ulang plastik PET menjadi filamen *3D Printing*.
2. Dapat merancang sistem kontrol yang dibutuhkan untuk otomatisasi rancangan alat daur ulang plastik PET menjadi filamen *3D Printing*.
3. Dapat mengetahui hasil simulasi perancangan program otomasi alat daur ulang.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Penulis
Dapat mengaplikasikan akumulasi pengetahuan dari kurikulum perkuliahan menjadi bentuk nyata dan produktif.
2. Bagi Instansi Pendidikan
Riset ini dapat menjadi lonjakan awal akan pendidikan mengaplikasikan teknologi terbaru bagi mahasiswa mendatang. Mendidik mahasiswa generasi baru yang dapat berinovasi dan menanggapi permasalahan dunia.
3. Bagi Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin PNB
Mendapatkan pengetahuan tambahan akan sistem pemberdayaan ulang residu menjadi bahan baku untuk pengolahan. Serta rancangan nyata akan alat yang memanfaatkan sistem tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses perancangan dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik tiga kesimpulan utama yang secara langsung menjawab rumusan masalah penelitian:

1. Rancangan alat daur ulang sampah plastik PET menjadi filamen *3D printing* telah berhasil diwujudkan melalui pendekatan sistem terintegrasi dengan struktur vertikal berbasis gravitasi. Desain ini secara efektif menggabungkan tiga modul proses utama: modul pencacah dan ekstruder yang diadopsi dari desain *open-source Precious Plastic V2* yang telah teruji, serta sebuah modul pengeringan kustom yang inovatif. Modul pengeringan ini, yang menjadi inti dari desain, menggunakan sistem kartrid silika ganda dengan regenerasi otomatis untuk memastikan pengeringan yang kontinu dan efisien.
2. Sistem kontrol yang dibutuhkan untuk otomasi penuh telah berhasil dirancang menggunakan arsitektur *multi-MCU* terdistribusi dengan topologi *Master-Slave* yang berkomunikasi melalui protokol RS-485. MCU Master berfungsi sebagai antarmuka pengguna dan manajer proses, sementara MCU *slave* di setiap modul (Pencacah, Pengering, Ekstruder) menjalankan tugas-tugas spesifik secara otonom. Sistem ini dilengkapi dengan logika penanganan kesalahan hierarkis dan menyediakan mode operasi yang dapat dipilih oleh pengguna. Sistem ini dilengkapi dengan logika penanganan kesalahan hierarkis dan menyediakan mode operasi yang dapat dipilih oleh pengguna, yang memungkinkan adanya *trade-off* antara waktu proses dan kualitas filamen akhir. Arsitektur ini memastikan bahwa seluruh proses, dari pencacahan hingga ekstrusi, dapat berjalan secara andal dan mandiri.
3. Hasil Simulasi alat yang diproyeksikan menunjukkan kapabilitas fungsional yang tinggi dan kelayakan ekonomi yang signifikan. Berdasarkan hasil simulasi dinamis, mesin ini mampu memproses *batch* seberat 1 kg dan

menurunkan kadar air serpihan PET hingga target optimal 0.02% dalam waktu operasional total sekitar 38,5 jam. Secara ekonomis, dengan total biaya operasional berbasis listrik sekitar Rp 61.000 per siklus, kelayakan mesin ini dibuktikan dari kemampuannya untuk mengeliminasi biaya pembelian bahan baku (cacahan plastik), yang menurut studi dapat mencapai Rp 8.500 per kg, sehingga menjadikannya solusi alternatif yang sangat menjanjikan secara ekonomi.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis ingin sampaikan untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Melakukan optimasi lebih lanjut pada parameter suhu pengeringan untuk mengurangi total waktu siklus. Simulasi telah mengidentifikasi bahwa laju pelepasan kelembapan dari PET adalah faktor pembatas utama. Oleh karena itu, melakukan eksperimen dengan menaikkan suhu operasional ruang pengering (misalnya ke rentang 150-160°C) berpotensi besar untuk mengurangi durasi proses pengeringan secara signifikan tanpa memerlukan perubahan desain mekanis yang besar.
2. Membangun prototipe fisik dan melakukan validasi kinerja secara empiris. Langkah krusial berikutnya adalah merealisasikan desain ini menjadi sebuah mesin fungsional. Pengujian di dunia nyata sangat diperlukan untuk memverifikasi data dari simulasi, mengukur kualitas filamen secara langsung (melalui uji kekuatan tarik dan analisis konsistensi diameter), serta untuk mengidentifikasi potensi perbaikan mekanis dan efisiensi energi yang tidak terlihat dalam tahap pemodelan digital

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., 1996. RELATING THE HAZEN-WILLIAMS AND DARCY-WEISBACH FRICTION Loss EQUATIONS FOR PRESSURIZED IRRIGATION. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(6), pp. 685-693.
- Aniskevich, A., Bulderberga, O. & Stankevics, L., 2023. Moisture Sorption and Degradation of Polymer Filaments Used in 3D Printing. *Polymers*, Volume 15, pp. 1-23.
- Anon., 2023. *National Sport and Physical Activity Participation Report*, s.l.: AUSPLAY.
- Anon., 2024. *Perkembangan Pariwisata Provinsi Bali Januari 2024*. Denpasar(Bali): Badan Pusat Statistik Provinsi Bali.
- Astuti, A. D., Wahyudi, J., Ernawati, A. & Aini, S. Q., 2020. Kajian Pendirian Usaha Biji Plastik di Kabupaten Pati, Jawa Tengah. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 16(2), pp. 95-112.
- Babaei, M., Jalilian, M. & Shahbaz, K., 2024. Chemical recycling of Polyethylene Terephthalate: A mini-review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, pp. Volume 12, Issue 3.
- Baldwin, J., 2021. *Countries that are leading the way in 3D Printing*. [Online] Available at: <https://blog.grabcad.com/blog/2021/07/21/countries-that-are-leading-the-way-in-3d-printing/> [Accessed 11 Mei 2024].
- Barany, S. & Strelko, V., 2013. Laws and mechanism of adsorption of cations by different ion-exchange forms of silica gel. *Adsorption*, Volume 19, pp. 796-776.
- Benyathiar, P. et al., 2022. Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review. *Polymers*, pp. Vol 14, 1-29.
- Berger, A. A., 2013. *Bali Tourism*. London: Taylor & Francis Group.

- Bozkurt, Y. & Karayel, E., 2021. 3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends. *Journal of Materials Research and Technology*, pp. 1431-1450.
- Bultongez, K. K., 2015. *Experimental investigation on the effects of channel material, size, and oil viscosity in horizontal mini-channels*, Manhattan: Kansas State University.
- Campos, G. et al., 2025. Beyond processing methods: the impact of the drying technique on PET performance. *Discover Polymers*, 2(1).
- Chang, K.-S., Wang, H.-C. & Chung, T.-W., 2004. Effect of regeneration conditions on the adsorption dehumidification process in packed silica gel beds. *Applied Thermal Engineering*, Volume 24, pp. 735-742.
- Circular, S., 2023. *Country Profile Indonesia*, Thailand: UN Environment Programme.
- Daroń, M., Górska, M. & Dunay, A., 2018. *Improvement of the production system functioning with using quality management tools in the metallurgical enterprise*. Online, EDP Sciences, pp. 1-6.
- Deshpande, G. D., 2015. *Innovation and Entrepreneurship in Engineering Education*. Bangalore, Springer New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London, pp. 41-45.
- Dzogbewu, T. C. et al., 2022. Additive manufacturing towards product production: a bibliometric analysis. *Manufacturing Review*, 9(1), pp. 1-21.
- Ekman, R., 2018. *Development of a Plastic Shredder*, Lund: LUND UNIVERSITY.
- Ekman, R., 2018. *Development of a Plastic Shredder*, LUND: LUND UNIVERSITY.
- Frankowiak, M., Grosvenor, R. & Prickett, P., 2005. A review of the evolution of microcontroller-based machine and process monitoring. *Machine Tools & Manufacture*, Volume 45, pp. 573-582.
- Hamill, S., 2024. *40+ 3D Printing Industry Statistics (2024 Update)*. [Online] Available at: <https://www.3dsourced.com/important/stats-facts-about-3d-printing-industry/>

- Hassan, M., Mohanty, A. K. & Misra, M., 2024. 3D printing in upcycling plastic and biomass waste to sustainable polymer. *Materials & Design*, Volume 237, pp. 1-25.
- Hogan, M., 2023. *Ultimate List of 3D Printing Statistics & Trends [2023]*. [Online] Available at: <https://nexa3d.com/blog/3d-printing-statistics/>
- Ismawati, Y. et al., 2022. *PLASTIC WASTE MANAGEMENT AND BURDEN IN INDONESIA*, s.l.: International Pollutants Elimination Network (IPEN).
- Ismianti & Herianto, 2020. Adoption of 3D Printing in Indonesia and. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012028(722), pp. 1-11.
- Jabarin, S. A. & Lofgren, E. A., 1984. Thermal Stability of Polyethylene Terephthalate. *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE*, 24(13), pp. 1056-1063.
- Jiménez, M. et al., 2019. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. *Complexity in Manufacturing Processes and Systems 2019*, 2019(9656938), pp. 1-30.
- Kakaç, S., Kilic, B., Kulacki, F. A. & Annç, F., 2012 . *Convective Heat and Mass Transfer in Porous Media*. illustrated ed. s.l.:Springer Science & Business Media.
- Karakurt, I. & Lin, L., 2020. 3D printing technologies: techniques, materials, and post-processing. *Materials engineering: principles and technologies in additive manufacturing*, pp. 134-143.
- Kugelstadt, T., 2021. *The RS-485 Design Guide*, Texas: Texas Instruments Incorporated.
- Kumar, B. V. M. & Basha, S. A., 2018. Design and Developing Manufacturing Process Plan for Optimized Aero Space Piston Ring. *International Journal of Research*, 5(22), pp. 936-958.
- Lu, C. et al., 2018. Nuclear Engineering and Design. *Nuclear Engineering and Design*, Volume 332, pp. 147-161.
- Margaris, D. P. & Ghiaus, A.-G., 2007. Experimental study of hot air dehydration of Sultana grapes. *Journal of Food Engineering* , Volume 79 , p. 1115–1121.

Mayer, M., 2020. *1.75mm vs 3mm filament for 3d printing: their pros and cons!*.

[Online]

Available at: [https://3dsolved.com/1-75mm-vs-3mm-filament-for-3d-printing-pros-and-cons-of-](https://3dsolved.com/1-75mm-vs-3mm-filament-for-3d-printing-pros-and-cons-of-each/#:~:text=The%20most%20popular%20diameter%20used%20in%203d%20printing,3d%20printer%20manufacturer%20sells%20exclusively%201.75mm%20compatible%20machines.)

[each/#:~:text=The%20most%20popular%20diameter%20used%20in%203d%20printing,3d%20printer%20manufacturer%20sells%20exclusively%201.75mm%20compatible%20machines.](https://3dsolved.com/1-75mm-vs-3mm-filament-for-3d-printing-pros-and-cons-of-each/#:~:text=The%20most%20popular%20diameter%20used%20in%203d%20printing,3d%20printer%20manufacturer%20sells%20exclusively%201.75mm%20compatible%20machines.)

[Accessed 21 January 2025].

Nait-Ali, L. K., Colin, X. & Bergeret, A., 2011. Kinetic analysis and modelling of PET macromolecular changes during its mechanical recycling by extrusion. *Polymer Degradation and Stability*, Volume 96, pp. 236-246.

Nisticó, R., 2020. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing*, pp. Vol 90, 1-18.

Park, S. et al., 2022. 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications. *Matter*, Volume 5, pp. 43-76.

Plastimex, 2021. *The Problem of Moisture in PET Recycling*. [Online]

Available at: https://plastimex.mx/es_mx/the-problem-of-moisture-in-pet-recycling/

[Accessed 15 August 2025].

Schultz, J. W., 1930. Calculation of Latent Heats of Vaporization of the Normal Paraffin Hydrocarbons, Using Specific-Heat Data. *INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY*, 22(7), pp. 785-788.

Seibert, M. B. et al., 2022. Manufacturing of a PET Filament from Recycled Material for Material Extrusion (MEX). *Recycling*, 20 September, pp. 1-20.

Shigetomi, T., Tsuzumi, H., Toi, K. & Ito, T., 2000. Sorption and Diffusion of Water Vapor in Poly(ethylene terephthalate) Film. *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 76, p. 67–74.

Suadnyana, S. I. W. & Mahendro, A., 2024. *Pantai Kedonganan Diserbu Sampah, Sekitar 100 Ton Diangkut Sejak Pagi*. [Online]

Available at: <https://www.detik.com/bali/berita/d-7251568/pantai-kedonganan-diserbu-sampah-sekitar-100-ton-diangkut-sejak-pagi>

- Sukhija, A. & Sharma, A., 2022. Design studies on horizontal and vertical configuration of ground earth heat exchanger. *Journal of Thermal Engineering*, 8(3), pp. 373-389.
- Torquato, S. & Stell, G. R., 1982. An Equation for the Latent Heat of Vaporization. *Ind. Eng. Chem. Fundam*, Volume 21, pp. 202-205.
- Wajiansyah, A., Ramadhan, N., Sandria, R. & Pratama, M. D., 2020. Implementasi Master-slave Pada Embedded System Menggunakan Komunikasi RS-485. *ELKHA*, 12(1), pp. 26-31.
- Widyarsana, I. M. W., Damanhuri, E., Ulhusna, N. & Agustina, E., 2020. A Preliminary Study: Identification of Stream Waste Quantity and Composition in Bali Province, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, pp. Vol 148, 1-9.
- Yadav, L., Verma, A. K., Dabra, V. & Yadav, A., 2023. Performance Comparison of Different Desiccant Material Based Wheels for Air Conditioning Application. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 10(2), pp. 912-923.
- Zhou, X. & Wang, J., 2023. Editorial: Additive manufacturing for polymers. *Frontiers in Materials*, 13 June, pp. 1-2.
- Zou, T. et al., 2023. Polyethylene Terephthalate Composite Films with Enhanced Flame Retardancy and Gas Barrier Properties via Self-Assembly Nanocoating. *Nanomaterials*, 6 July, pp. 1-10.