A black and white logo

Description automatically generated

**ANALISIS TRANSMISI PENGGULUNG FILAMEN *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) MESIN *PULTRUSION***

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

**AJI PRABOWO**

**NPM. 6420600043**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER**

**UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

**2025**

# 

# LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

A close-up of a document

Description automatically generated

**HALAMAN PENGESAHAN**

A close-up of a document

Description automatically generated

**HALAMAN PERNYATAAN**

A close-up of a letter

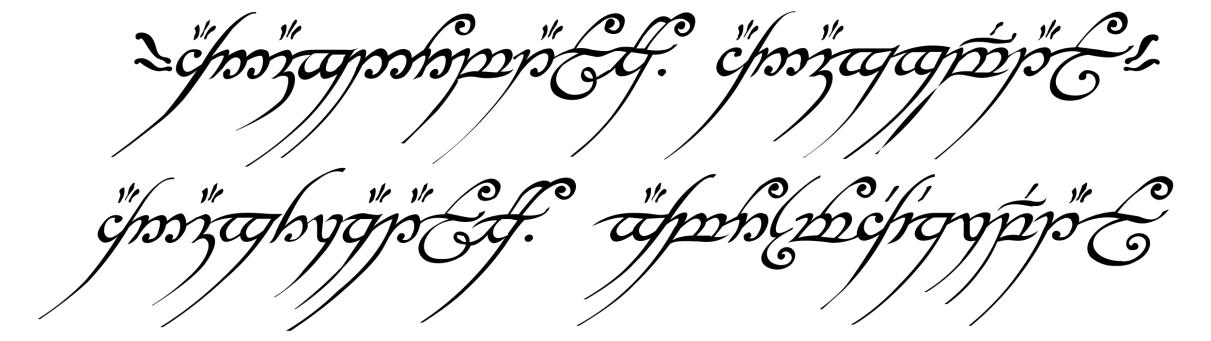
Description automatically generated

# MOTTO DAN PERSEMBAHAN

**MOTTO**

*“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan!.”*

(Surah Al-'Alaq)



*“Ash nazg durbatulûk, ash nazg gimbatul,  
ash nazg thrakatulûk, agh burzum-ishi krimpatul.”*

*“Satu Cincin untuk menguasai mereka semua,*

*Satu Cincin untuk menemukan mereka,  
Satu Cincin untuk membawa mereka semua*

*dan dalam kegelapan mengikat mereka.”*

(Sauron)

*“Dunia ini bukanlah di dalam buku dan peta milikmu, tetapi ada di luar sana.”*

(Gandalf the Grey : The Hobbit : An Unexpected Journey)

*“Begitu pula semua yang hidup untuk menyaksikan masa-masa seperti itu, tetapi bukan mereka yang memutuskannya.*

*Yang harus kita putuskan adalah bagaimana memanfaatkan waktu yang diberikan kepada kita.*

*Ada kekuatan lain yang bekerja di dunia ini, Frodo, selain kekuatan kejahatan.*

*Bilbo ditakdirkan untuk menemukan Cincin itu, dan dalam hal ini, kau juga ditakdirkan untuk memilikinya.*

*Dan itu adalah pemikiran yang memberi dorongan.”*

(Gandalf the Grey : The Lord of the Rings : The Fellowship of the Ring)

**PERSEMBAHAN**

*“Skripsi ini saya persembahan untuk almarhum Bapak tercinta, tanpa dedikasi beliau saya tidak akan pernah mengeyam bangku pendidikan sampai setinggi ini dan tanpa dedikasi beliau pula pasti saya sudah terjerumus ke dalam gelapnya dunia tanpa ada yang bisa mengarahkan. Mohon maaf saya belum bisa berbakti dan membahagiakanmu, saya hanya bisa berdo’a semoga engaku tenang di alam sana dan berada di tempat terbaik di surganya Allah SWT. Amin.”*

*“Untuk Ibu yang sangat saya sayangi, saya mengucapkan banyak-banyak terima kasih tak terhingga atas dedikasimu melindungi, mengayomi, dan menafkahi kami anak-anakmu ini sedari kecil sampai dewasa. Saya hanya bisa mengucapkan banyak-banyak terima kasih bahkan udara pun tidak akan pernah bisa menggantikan jasa seorang Ibu, kasih sayang Ibu sepanjang masa.”*

*“Untuk kakak perempuan ku yang ke dua, saya banyak-banyak mengucapkan terima kasih atas bantuanmu secara ekonomi maupun secara omelan yang terus-terusan engkau lontarkan kepada ku, tanpa itu saya pasti tidak akan bisa menyelesaikan kuliah ini.”*

*“Untuk adikku, semoga dirimu menjadi sosok lelaki yang lebih baik di bandingakan kakakmu ini dan Bapak, semoga dirimu menjadi orang yang sukses, bisa mengenyam pendidikan tinggi sampai S3, berguna bagi sesama, berguna bagi agama, negara dan dunia. Amin.”*

# KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Transmisi Penggulung Filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) Mesin *Pultrusion*”. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi strata Program Studi Teknik Mesin.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST. M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
2. Bapak M. Agus Sidiq, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi.
3. Ibu Prof. Dr. Retno Susilorini, M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi.
4. Segenap Dosen dan Staff Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Ibu yang tak pernah lelah memberikan segala dukungan serta doa-doanya.
6. Teman-teman baik di dalam maupun di luar kampus yang telah memberikan dukungan moral dalam proses penyusunan skripsi.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga laporan ini selesai, semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mendapat balasan yang melimpah dari Allah SWT.

Penulis telah mencoba membuat laporan sesempurna mungkin, namun demikian mungkin ada yang kekurangan yang tidak terlihat oleh penulis untuk itu mohon dimaafkan. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

|  |
| --- |
| Tegal, 13 Januari 2025  Penyusun |
| A close-up of a name  Description automatically generated |
| Aji Prabowo  NPM. 6420600043 |

# ABSTRAK

Analisis kekuatan suatu transmisi penting dilakukan agar komponen yang digunakan dapat kuat menahan beban yang sudah direncanakan, transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis merupakan poros dan roda gigi yang berfungsi untuk menggulung filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada mesin *pultrusion*. Material poros dan roda gigi yang digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) berbentuk filamen yang dilakukan pengerjaan dengan menggunakan mesin printer 3D, sesuai model yang telah dirancang sebelumnya pada *software* SolidWorks. Analisis numerik ini dilakukan komputasi dengan menggunakan simulasi *static* pada SolidWorks *Simulation*, Untuk ukuran *mesh* yang digunakan dalam analisis ini adalah untuk poros dengan beban 15,78 N dan 12 N kontrol *mesh* 1,1 mm di dapatkan nilai *von Mises* 1,446 N/mm2 dan *Factor of Safety* di dapatkan nilai 29,283. Untuk roda gigi menggunakan nilai *stepper* motor pada kecepatan 9, untuk roda gigi *input* dengan beban 61,51 N kontrol *mesh* 0,4 mm di dapatkan nilai *von Mises* 11,212 N/mm2 dan *Factor of Safety* didapatkan nilai 3,777, untuk roda gigi *compound* 1 dengan beban 61,51 N kontrol *mesh* 0,6 mm di dapatkan nilai *von Mises* 7,064 N/mm2 dan *Factor of Safety* di dapatkan nilai 5,995, untuk roda gigi *compound* 2 dengan beban 111,84 N kontrol *mesh* 0,6 mm di dapatkan nilai *von Mises* 12,147 N/mm2 dan *Factor of Safety* di dapatkan nilai 3,486, dan roda gigi *output* dengan beban 111,84 N kontrol *mesh* 1,6 mm di dapatkan nilai *von Mises* 7,428 N/mm2 dan *Factor of Safety* di dapatkan nilai 5,701. Dan bahan aman digunakan karena masih berada dibawah nilai *yield strenght* ABS sebesar 42,35 N/mm2, sehingga dapat dipastikan komponen transmisi tersebut aman untuk dilakukan proses penggulungan filamen PET.

**Kata Kunci** : Simulasi *static*, SolidWorks, Poros, Roda gigi.

# ABSTRACT

The analysis of the strength of a transmission system is crucial to ensure that the components used can withstand the planned load. The transmission system analyzed in this study consists of a shaft and gears used to wind Polyethylene Terephthalate (PET) filaments in a pultrusion machine. The shaft and gears are made of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) in filament form, which is processed using a 3D printer based on a model previously designed in SolidWorks software. This numerical analysis was conducted using computational simulation with a static analysis in SolidWorks Simulation. The mesh size used in this analysis varies: for the shaft with loads of 15.78 N and 12 N, a mesh control of 1.1 mm resulted in a von Mises stress value of 1.446 N/mm² and a Factor of Safety (FoS) of 29.283. For the gears, the analysis utilized a stepper motor at speed 9. The input gear, with a load of 61.51 N and a mesh control of 0.4 mm, resulted in a von Mises stress value of 11.212 N/mm² and an FoS of 3.777. Compound gear 1, with a load of 61.51 N and a mesh control of 0.6 mm, resulted in a von Mises stress value of 7.064 N/mm² and an FoS of 5.995. Compound gear 2, with a load of 111.84 N and a mesh control of 0.6 mm, resulted in a von Mises stress value of 12.147 N/mm² and an FoS of 3.486. The output gear, with a load of 111.84 N and a mesh control of 1.6 mm, resulted in a von Mises stress value of 7.428 N/mm² and an FoS of 5.701. The material is considered safe for use since all stress values remain below the yield strength of ABS, which is 42.35 N/mm². Thus, the transmission components are confirmed to be safe for the PET filament winding process.

**Keywords:** Static simulation, SolidWorks, Shaft, Gear.

# DAFTAR ISI

[LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI ii](#_Toc191969111)

[HALAMAN PENGESAHAN iii](#_Toc191969112)

[HALAMAN PERNYATAAN iv](#_Toc191969113)

[MOTTO DAN PERSEMBAHAN v](#_Toc191969114)

[KATA PENGANTAR viii](#_Toc191969115)

[ABSTRAK x](#_Toc191969116)

[ABSTRACT xi](#_Toc191969117)

[DAFTAR ISI xii](#_Toc191969118)

[DAFTAR GAMBAR xv](#_Toc191969119)

[DAFTAR TABEL xviii](#_Toc191969120)

[BAB I 1](#_Toc191969121)

[PENDAHULUAN 1](#_Toc191969122)

[A. Latar Belakang 1](#_Toc191969123)

[B. Rumusan Masalah 4](#_Toc191969124)

[C. Batasan Masalah 4](#_Toc191969125)

[D. Tujuan Penelitian 5](#_Toc191969126)

[E. Manfaat Penelitian 5](#_Toc191969127)

[F. Sistematika Penulisan 6](#_Toc191969128)

[BAB II 8](#_Toc191969129)

[LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA 8](#_Toc191969130)

[A. Landasan Teori 8](#_Toc191969131)

[1. Plastik 8](#_Toc191969132)

[2. Jenis-Jenis Mesin Pembuat Filamen Printer 3D 12](#_Toc191969133)

[3. Komponen-Komponen Mesin *Pultrusion* 14](#_Toc191969134)

[4. Filamen dan Printer 3D 27](#_Toc191969135)

[5. Langkah Proses dan Prinsip Kerja Mesin Printer 3D 39](#_Toc191969136)

[B. Tinjauan Pustaka 43](#_Toc191969137)

[BAB III 54](#_Toc191969138)

[METODOLOGI PENELITIAN 54](#_Toc191969139)

[A. Metode Penelitian 54](#_Toc191969140)

[1. Fase Persiapan 54](#_Toc191969141)

[2. Fase Komputasi 54](#_Toc191969142)

[3. Fase Penyajian Hasil 55](#_Toc191969143)

[B. Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian 55](#_Toc191969144)

[1. Tempat Penelitian 55](#_Toc191969145)

[2. Waktu Penelitian 56](#_Toc191969146)

[C. Instrumen Penelitian 57](#_Toc191969147)

[1. *Software* 57](#_Toc191969148)

[2. *Hardware* 58](#_Toc191969149)

[D. Variabel Penelitian 60](#_Toc191969150)

[1. Variabel Bebas 60](#_Toc191969151)

[2. Variabel Terikat 60](#_Toc191969152)

[E. Metode Pengumpulan Data 61](#_Toc191969153)

[1. Studi Pustaka 61](#_Toc191969154)

[2. Eksperimental 61](#_Toc191969155)

[3. Simulasi 61](#_Toc191969156)

[F. Desain Perancangan 62](#_Toc191969157)

[G. Diagram Alur Penelitian 64](#_Toc191969158)

[BAB IV 65](#_Toc191969159)

[HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 65](#_Toc191969160)

[A. Hasil Penelitian 65](#_Toc191969161)

[1. Mendesain Komponen Transmisi Penggulung Filamen 65](#_Toc191969162)

[2. Poros 67](#_Toc191969163)

[3. Roda Gigi 77](#_Toc191969164)

[B. Simulasi Transmisi Penggulung Filamen 100](#_Toc191969165)

[1. Simulasi Poros 100](#_Toc191969166)

[2. Simulasi Roda Gigi *Input* 105](#_Toc191969167)

[3. Simulasi Roda Gigi *Coumpound* 1 110](#_Toc191969168)

[4. Simulasi Roda Gigi *Coumpond* 2 115](#_Toc191969169)

[5. Simulasi Roda Gigi *Output* 119](#_Toc191969170)

[C. Pembahasan 124](#_Toc191969171)

[BAB V 125](#_Toc191969172)

[KESIMPULAN DAN SARAN 125](#_Toc191969173)

[A. Kesimpulan 125](#_Toc191969174)

[B. Saran 127](#_Toc191969175)

[DAFTAR PUSTAKA 130](#_Toc191969176)

[LAMPIRAN 132](#_Toc191969177)

[A. Dokumentasi Pembuatan Mesin *Pultrusion* 132](#_Toc191969178)

[1. Dokumentasi Pencetakan Komponen Mesin *Pultrusion* 132](#_Toc191969179)

[2. Dokumentasi Perakitan Mesin *Pultrusion* 134](#_Toc191969180)

[3. Dokumentasi Pembuatan Filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) 137](#_Toc191969181)

[B. Dokumentasi Data Material Filamen 140](#_Toc191969182)

[C. Dokumentasi Simulasi *Static* Komponen Transmisi 142](#_Toc191969185)

[1. Dokumentasi Simulasi Poros Kontrol *Mesh* 142](#_Toc191969186)

[2. Dokumentasi Simulasi Roda Gigi *Input* Kontrol Mesh 144](#_Toc191969187)

[3. Dokumentasi Simulasi Roda Gigi *Compound* 1 Kontrol Mesh 146](#_Toc191969188)

[4. Dokumentasi Simulasi Roda Gigi *Compound* 2 Kontrol Mesh 148](#_Toc191969189)

[5. Dokumentasi Simulasi Roda Gigi *Output* Kontrol *Mesh* 150](#_Toc191969190)

[D. Dokumentasi Gambar Kerja Komponen Mesin *Pultrusion* 152](#_Toc191969191)

[1. Poros 152](#_Toc191969192)

[2. Roda Gigi *Input* 153](#_Toc191969193)

[3. Roda Gigi *Compound* 1 154](#_Toc191969194)

[4. Roda Gigi *Compound* 2 155](#_Toc191969195)

[5. Roda Gigi *Output* 156](#_Toc191969196)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2.1 Nomor kode dan jenis-jenis plastik 12](#_Toc191969897)

[Gambar 2.2 Mesin ekstruder hermoplastik 13](#_Toc191969898)

[Gambar 2.3 Prinsip kerja mesin pultrusion 14](#_Toc191969899)

[Gambar 2.4 *Meshing* pada plat 17](#_Toc191969900)

[Gambar 2.5 Kontrol *mesh* 17](#_Toc191969901)

[Gambar 2.6 Simulasi *static* 18](#_Toc191969902)

[Gambar 2.7 Heater printer 3D 19](#_Toc191969903)

[Gambar 2.8 Printer 3D Thermistor 100k 20](#_Toc191969904)

[Gambar 2.9 Heat block 20](#_Toc191969905)

[Gambar 2.10 Nosel 21](#_Toc191969906)

[Gambar 2.11 Cooling fan CPU 22](#_Toc191969907)

[Gambar 2.12 Motor stepper NEMA 17 23](#_Toc191969908)

[Gambar 2.13 Jenis-jenis roda gigi 27](#_Toc191969909)

[Gambar 2.14 Filamen ABS 28](#_Toc191969910)

[Gambar 2.15 Filamen PLA 29](#_Toc191969911)

[Gambar 2.16 Filamen HIPS 30](#_Toc191969912)

[Gambar 2.17 Filamen ePA 31](#_Toc191969913)

[Gambar 2.18 Filamen PVA 32](#_Toc191969914)

[Gambar 2.19 Filamen PETG 33](#_Toc191969915)

[Gambar 2.20 Filamen eTPU-95A 34](#_Toc191969916)

[Gambar 2.21 Filamen eASA 35](#_Toc191969917)

[Gambar 2.22 Mesin printer 3D FDM 37](#_Toc191969918)

[Gambar 2.23 Mesin printer 3D SLA 38](#_Toc191969919)

[Gambar 2.24 Mesin printer 3D SLS 38](#_Toc191969920)

[Gambar 2.25 Proses desain CAD 39](#_Toc191969921)

[Gambar 2.26 Konversi desain ke format STL 40](#_Toc191969922)

[Gambar 2.27 Komputer yang dihubungkan ke mesin printer 3D 40](#_Toc191969923)

[Gambar 2.28 Filamen sebagai bahan untuk melakukan cetak 3D 41](#_Toc191969924)

[Gambar 2.29 Proses printer 3D tipe FDM 42](#_Toc191969925)

[Gambar 2.30 Proses pengangkatan objek 42](#_Toc191969926)

[Gambar 2.31 Proses pencucian objek printer 3D (tidak wajib) 43](#_Toc191969927)

[Gambar 3.1 Solidworks premium 2023.................................................................57](#_Toc191969928)

[Gambar 3.2 Repetier-Host V2.3.2 58](#_Toc191969929)

[Gambar 3.3 Laptop pribadi 59](#_Toc191969930)

[Gambar 3.4 Printer 3D FDM 59](#_Toc191969931)

[Gambar 3.5 Mesin pultrusion pembuat filamen PET 62](#_Toc191969932)

[Gambar 3.6 Diagram alur tahap penelitian 64](#_Toc191969933)

[Gambar 4.1 Sistem penggulungan filamen............................................................65](#_Toc191969934)

[Gambar 4.2 Spool Sunlu standar 1 kg 68](#_Toc191969935)

[Gambar 4.3 Desain spool modifikasi 69](#_Toc191969936)

[Gambar 4.4 Berat roda gigi *output* 70](#_Toc191969937)

[Gambar 4.5 Berat gulungan tengah 70](#_Toc191969938)

[Gambar 4.6 Berat penutup spool 71](#_Toc191969939)

[Gambar 4.7 Desain Poros 73](#_Toc191969940)

[Gambar 4.8 Sudut kemiringan filamen 73](#_Toc191969941)

[Gambar 4.9 *Free body* poros 74](#_Toc191969942)

[Gambar 4.10 Berat roda gigi *input* 84](#_Toc191969943)

[Gambar 4.11 Berat roda gigi *compound* 1 dan 2 85](#_Toc191969944)

[Gambar 4.12 Rangkaian roda gigi tersusun 86](#_Toc191969945)

[Gambar 4.13 Desain roda gigi *input* 90](#_Toc191969946)

[Gambar 4.14 Desain roda gigi *compound* 1 92](#_Toc191969947)

[Gambar 4.15 Desain roda gigi *compound* 2 95](#_Toc191969948)

[Gambar 4.16 Desain roda gigi *output* 97](#_Toc191969949)

[Gambar 4.17 Pembebanan poros 101](#_Toc191969950)

[Gambar 4.18 Grafik pengaruh tegangan 103](#_Toc191969951)

[Gambar 4.19 Tegangan *von Mises* kontrol *mesh* 1,1 mm poros 104](#_Toc191969952)

[Gambar 4.20 Hasil *factor of safety* poros 105](#_Toc191969953)

[Gambar 4.21 Pembebanan roda gigi *input* 106](#_Toc191969954)

[Gambar 4.22 Grafik pengaruh tegangan 108](#_Toc191969955)

[Gambar 4.23 Tegangan *von Mises* 109](#_Toc191969956)

[Gambar 4.24 Hasil *factor of safety* roda gigi *input* 110](#_Toc191969957)

[Gambar 4.25 Pembebanan roda gigi *compound* 1 111](#_Toc191969958)

[Gambar 4.26 Grafik pengaruh tegangan 113](#_Toc191969959)

[Gambar 4.27 Tegangan von Mises 114](#_Toc191969960)

[Gambar 4.28 Hasil *factor of safety* roda gigi *compound* 1 114](#_Toc191969961)

[Gambar 4.29 Pembebanan roda gigi *compound* 2 116](#_Toc191969962)

[Gambar 4.30 Grafik pengaruh tegangan 117](#_Toc191969963)

[Gambar 4.31 Tegangan *von Mises* 118](#_Toc191969964)

[Gambar 4.32 Hasil *factor of safety* roda gigi *compound* 2 119](#_Toc191969965)

[Gambar 4.33 Pembebanan roda gigi *output* 120](#_Toc191969966)

[Gambar 4.34 Grafik pengaruh tegangan 122](#_Toc191969967)

[Gambar 4.35 Tegangan *von Mises* 123](#_Toc191969968)

[Gambar 4.36 Hasil *factor of safety* roda gigi *output* 123](#_Toc191969969)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 2.1 Data material filamen ABS 28](#_Toc191970272)

[Tabel 2.2 Data material filamen PLA 29](#_Toc191970273)

[Tabel 2.3 Data material filamen HIPS 30](#_Toc191970274)

[Tabel 2.4 Data material filamen ePA 31](#_Toc191970275)

[Tabel 2.5 Data material filamen PVA 33](#_Toc191970276)

[Tabel 2.6 Data material filamen PETG 33](#_Toc191970277)

[Tabel 2.7 Data material filamen eTPU-95A 34](#_Toc191970278)

[Tabel 2.8 Data material filamen eASA 35](#_Toc191970279)

[Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian...................................................................56](#_Toc191970281)

[Tabel 4.1 Data material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)...........................66](#_Toc191970289)

[Tabel 4.2 Hasil perhitungan RPM transmisi roda gigi 83](#_Toc191970290)

[Tabel 4.3 Ukuran spesifikasi roda gigi *input* 90](#_Toc191970291)

[Tabel 4.4 Hasil pembebanan roda gigi *input* 92](#_Toc191970292)

[Tabel 4.5 Ukuran spesifikasi roda gigi *compound* 1 93](#_Toc191970293)

[Tabel 4.6 Hasil pembebanan roda gigi *compound* 1 94](#_Toc191970294)

[Tabel 4.7 Ukuran spesifikasi roda gigi *compound* 2 95](#_Toc191970295)

[Tabel 4.8 Hasil pembebanan roda gigi *compound* 2 97](#_Toc191970296)

[Tabel 4.9 Ukuran spesifikasi roda gigi *output* 97](#_Toc191970297)

[Tabel 4.10 Hasil pembebanan roda gigi *output* 99](#_Toc191970298)

[Tabel 4.11 Data botol PET lebar sayatan 7 mm 100](#_Toc191970299)

[Tabel 4.12 Data botol PET lebar sayatan 8 mm 100](#_Toc191970300)

[Tabel 4.13 Data botol PET lebar sayat 9mm 100](#_Toc191970301)

[Tabel 4.14 Pembebanan poros 101](#_Toc191970302)

[Tabel 4.15 Hasil simulasi *static* pengaruh tegangan *von Mises* 102](#_Toc191970303)

[Tabel 4.16 Pembebanan roda gigi *input* 106](#_Toc191970304)

[Tabel 4.17 Hasil simulasi *static* pengaruh tegangan *von Mises* 107](#_Toc191970305)

[Tabel 4.18 Pembebanan roda gigi *compound* 1 111](#_Toc191970306)

[Tabel 4.19 Hasil simulasi *static* pengaruh tegangan *von Mises* 112](#_Toc191970307)

[Tabel 4.20 Pembebanan roda gigi *compound* 2 115](#_Toc191970308)

[Tabel 4.21 Hasil simulasi *static* pengaruh tegangan *von Mises* 117](#_Toc191970309)

[Tabel 4.22 Pembebanan roda gigi *output* 120](#_Toc191970310)

[Tabel 4.23 Hasil simulasi *static* pengaruh tegangan *von Mises* 121](#_Toc191970311)

[Tabel 4.24 Hasil simulasi *static* komponen transmisi penggulung filamen 124](#_Toc191970312)

# 

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Sampah seperti botol plastik tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia. Botol plastik umumnya digunakan sebagai pembungkus minuman dingin seperti air mineral, jus, dan minuman ringan. Salah satu jenis limbah yang dapat didaur ulang adalah bekas botol plastik minuman khususnya plastik dengan sepesifikasi seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah salah satunya. Hasil daur ulang dari wadah plastik bekas ini dapat dimanfaatkan untuk menciptakan berbagai produk kerajinan, seperti pin atau aksesoris, tempat penyimpanan tisu, celengan, serta berbagai macam souvenir.

Plastik adalah bahan yang mulai meluas penggunaannya sejak abad ke 20. Penggunaan plastik mengalami perkembangan pesat, dimulai dari beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, meningkat menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an, dan mencapai 220 juta ton/tahun pada tahun 2005. Saat ini, konsumsi plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60 kilogram per orang per tahun, di Amerika Serikat mencapai 80 kilogram per orang per tahun, dan di India hanya sekitar 2 kilogram per orang per tahun. Plastik secara umum dapat dikelompokkan menjadi tujuh jenis, yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density* *Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *LowDensity Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan Bahan Plastik Lain (BPA, *Polycarbonate*, dan *LEXAN*).

Berdasarkan respons plastik terhadap perubahan suhu, terdapat dua kategori plastik. Pertama yaitu ada *thermoplastic*, yang dapat meleleh pada suhu tertentu, dapat menyesuaikan bentuknya dengan perubahan suhu, dan bersifat *reversibel* (dapat kembali ke bentuk semula atau mengeras ketika didinginkan). Contoh jenis plastik ini antara lain *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Poliviniklorida* (PVC), *Polistirena* (PS). Kedua yaitu ada *Thermoset* atau *thermodursisabel*, jenis plastik ini tidak dapat menyesuaikan bentuknya dengan perubahan suhu (tidak *reversibel*). Setelah mengeras, bahan ini tidak dapat digunakan kembali, dan pemanasan dengan suhu tinggi tidak akan melunakkan plastik ini, melainkan akan membentuk arang dan terurai. Oleh karena sifat *thermoset* yang demikian, plastik ini banyak digunakan sebagai tutup ketel.

Manufaktur dan penggunaan plastik telah meningkat secara global dalam beberapa dekade terakhir karena bobotnya yang rendah dan kualitas mekanik yang bagus. Plastik memiliki berbagai sifat karakteristik material karena kualitasnya seperti ringan, kekuatan tinggi, dan daya tahan yang lama. Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) digunakan di berbagai industri, termasuk seperti transportasi, otomotif, elektronik, peralatan rumah tangga, pengemasan, dan tekstil. Karena *non-degradability* dari jenis polimer atau bahan plastik ini, banyak limbah plastik yang dihasilkan dalam kehidupan kita sehari-hari. Untuk mengatasi masalah jenis ini, ikuti tiga aturan "R" : "*REDUCE*," "*REUSE*" dan "*RECYCLE*". Untuk meminimalkan sampah plastik dengan mengurangi penggunaan plastik, menggunakannya kembali untuk jangka waktu yang lebih lama, atau mendaur ulangnya menjadi filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk printer 3D.

Printer 3D merupakan teknologi yang menggunakan kendali komputer untuk membuat objek dengan cara memanaskan filamen dan membentuknya sesuai dengan desain melalui nosel printer 3D, proses ini diatur oleh program komputer untuk menghasilkan barang sesuai dengan desain yang diinginkan. Filamen yang digunakan dalam proses ini dapat diproduksi dari limbah kemasan botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang tidak terpakai.

Teknologi printer 3D juga dikenal sebagai teknologi *prototyping* cepat, merujuk pada proses desain di mana pemrograman komputer mengarahkan pembuatan model tiga dimensi dengan menggunakan lapisan-lapisan bahan fabrikasi. Keuntungan produksi prototipe ini dapat dinikmati oleh insinyur, desainer, dan teknisi. Dalam perkembangan terkini, teknologi baru telah dikembangkan untuk memberikan berbagai keunggulan bagi mereka yang memerlukan prototipe dengan cepat. Printer 3D yang tersedia saat ini menawarkan kecepatan, kemudahan, dan harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan teknologi fabrikasi sebelumnya. Penggunaan printer 3D juga mengeliminasi kebutuhan akan peralatan mahal dan keterampilan pengrajin terampil untuk menciptakan desain prototipe, menjadikan proses ini lebih terjangkau dan efisien.

## Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil simulasi static tegangan *von Mises*, kecepatan stepper motor untuk nilai pembebanan, nilai mm kontrol *mesh*, nilai *factor of safety* untuk transmisi pengulung filamen seperti poros, roda gigi *input*, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2 dan roda gigi *output*?
2. Apakah desain komponen transmisi penggulung filamen seperti poros, roda gigi *input*, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output* ketika diberikan pembebanan terjadi kegagalan desain atau tidak?, dan komponen transmisi penggulung filamen tersebut dapat menarik atau menggulung filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) atau tidak?

## Batasan Masalah

1. Mesin *pultrusion* hanya bisa menghasilkan filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) dari botol plastik bekas.
2. Komponen transmisi penggulung filamen dicetak menggunakan printer 3D, dimana komponen tersebut dicetak menggunakan bahan dari filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS).
3. Untuk pengujian simulasi tebatas pada simulasi *static* dan menggunakan kontrol *mesh* pada setiap komponen transmisi penggulung filamen yang di analisis, dimana pada simulasi tersebut menggunakan software SolidWorks premium 2023.

## Tujuan Penelitian

1. Untuk merancang dan mendesain komponen transmisi penggulung filamen yang terbuat dari bahan filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), kemudian mencetaknya menggunakan printer 3D.
2. Untuk mengetahui area mana yang terkena pembebanan pada komponen transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis seperti poros, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output*, kemudian dilakukan kontrol *mesh* pada area yang terkena pembebanan.
3. Untuk mengetahui komponen transmisi penggulung filamen seperti poros, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output* ketika diberikan nilai pembebanan, untuk nilai tegangan *von Mises* dan *factor of safety* pada komponen yang di analisis tersebut untuk nilai hasilnya dilakukan perbandingan dengan nilai dari data material *yield strength* dari bahan material filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS).

## Manfaat Penelitian

1. Optimalisasi Desain Transmisi Penggulung Filamen

Penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang desain yang optimal untuk transmisi penggulung filamen mesin *pultrusion* dalam konteks pembuatan filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk printer 3D. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja mesin *pultrusion* yang digunakan dalam proses menghasilkan filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET).

1. Pengurangan Limbah Plastik

Dengan menggunakan botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) bekas sebagai bahan baku, penelitian ini dapat membantu mengurangi jumlah limbah plastik di lingkungan. Konsep daur ulang ini sesuai dengan prinsip keberlanjutan dan pengelolaan limbah yang lebih baik.

## Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab dan daftar pustaka maupun lampiran, yang telah disusun oleh penulis sesuai dengan depoman penulisan skripsi Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Pancasakti Tegal tahun 2022. Berikut adalah sistematika penulisan secara keseleruhan.

**BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi mengenai penelitian yang hendak dilakukan penulis seperti latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penyusunan yang digunakan.

**BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini menguraikan konsep yang diterapkan dalam penelitian ini dan menggambarkan ringkasan dari kajian literatur yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini mencakup penerapan metode penelitian yang diterapkan saat melakukan studi, termasuk rentang waktu penelitian, lokasi penelitian, serta teknik yang digunakan untuk mengumpulkan data.

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini adalah hasil penelitian dan pembahasan yang mencakup hasil penelitian, seperti simulasi *static* transmisi penggulung filamen, dimana meliputi simulasi *static* poros, simulasi *static* roda gigi *input*, simulasi *static* roda gigi *compound* 1, simulasi *static* roda gigi *compound* 2, dan simulasi *static* roda gigi *output*. Kemudian dilakukan pembahasan pada setiap hasil penelitian komponen transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis tersebut.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas kesimpulan dan saran, yang menyimpulkan seluruh hasil penelitian dan saran, masukkan, atau kekurangan dari penelitian ini untuk dilakukan penelitian selanjutnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisi referensi untuk pengutipan kalimat pada penelitian ini yang bersumber pada jurnal dan skripsi terdahulu, mendukung dan memverifikasi data yang digunakan pada penelitian.

**LAMPIRAN**

Bagian ini melampirkan kegiatan-kegiatan ketika melakukan penelitian, seperti ketika pembuatan mesin *pultrusion*, mencetak komponen menggunakan printer 3D, dan pengambilan data. Dan juga melampirakan seperti gambar kerja mesin *pultrusion* maupun setiap komponen mesin *pultrusion*, menampilkan hasil simulasi *static* pada komponen transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis.

# 

# LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

## Landasan Teori

### Plastik

#### Sejarah Plastik

Sejarah plastik dimulai pada awal abad ke-20 sebagai bahan sintetis yang terbuat dari polimer, molekul besar yang terbentuk dari rantai molekul kecil. Inovasi dimulai pada tahun 1862 dengan penciptaan *Parkesine* oleh Alexander Parkes, bahan plastik pertama dari selulosa. Pada 1907, Leo Baekeland menemukan *bakelite*, plastik sepenuhnya sintetis yang digunakan dalam berbagai produk. Pengembangan polietilena dan *polipropilena* pada 1933 dan 1954 menciptakan plastik yang populer dalam industri.

*Polivinil klorida* (PVC) dan polistiren muncul pada tahun 1920-an dan tahun 1930-an, digunakan untuk pipa dan konstruksi. Plastik memainkan peran penting dalam Perang Dunia II, ditingkatkan penggunaannya dalam aplikasi militer. Setelah perang, produksi plastik meningkat secara dramatis, menjadi bahan umum dalam industri dan produk konsumen. Pada akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21, meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan plastik menjadi sorotan global.

#### Sejarah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Sejarah poliester sintetis dimulai dengan penemuan oleh ahli kimia Amerika Wallace H. Carothers (1896-1937) mengenai polimer termoplastik linier di laboratorium Perusahaan DuPont. Khususnya, kolaborator Carothers, ahli kimia Amerika Julian W. Hill (1904-1996), terlibat dalam kegiatan awal terkait serat poliester. Pada tahun 1929, Carothers dan Hill mensintesis poliester dengan menggabungkan asam dikarboksilat (asam oktedekanoat) dan diol (propilen glikol), membentuk makromolekul hingga berat molekul 25.000 Da dengan menghilangkan molekul air sebagai produk samping selama reaksi kondensasi.

Namun, perkembangan poliester terkait PET dimulai dengan karya ahli kimia Inggris John R. Whinfield (1901-1966) dan asistennya James T. Dickson pada tahun 1941 di Asosiasi Printer Calico Manchester, perusahaan tekstil Inggris. Kedua ilmuwan tersebut mensintesis dan mematenkan *Polyethylene Terephthalate* (PET) melalui proses kondensasi menggunakan dua monomer, yaitu asam tereftalat dan EG (etilen glikol). Pada tahun yang sama, penemuan ini diaplikasikan untuk produksi serat *Polyethylene Terephthalate* (PET) pertama yang disebut Terylene (hak paten oleh Imperial Chemical Industry, ICI), yang kemudian dikenal sebagai film Melinex.

Pada 1950, Perusahaan DuPont menghasilkan *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk pasar Amerika dengan mengadaptasi teknologi produksi poliamida, mengembangkan serat *Polyethylene Terephthalate* (PET) bernama Dacron. Uni Soviet juga memproduksi *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada tahun 1949 di laboratorium Akademi Ilmu Pengetahuan Uni Soviet dengan merek dagang Lavsan. DuPont kemudian mengembangkan film *Polyethylene Terephthalate* (PET) berorientasi biaksial bernama Mylar pada tahun 1952.

Penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam industri minuman dipelopori oleh insinyur Amerika Nathaniel C. Wyeth (1911–1990) di Perusahaan DuPont. Wyeth menciptakan konsep menyimpan cairan bertekanan (CSD) dalam botol *blow moulded* *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang berorientasi biaksial pada tahun 1973. Kontribusi utama Wyeth adalah ide tersebut, yang membuka jalan bagi pengembangan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam botol minuman. Pada awal 1990-an, R-PET (PET daur ulang) disetujui untuk kontrak makanan di Amerika Serikat, dan Perusahaan Coca-Cola, sebagai pemimpin industri dalam minuman bersoda, mulai menggunakan R-PET dalam produksi botol minuman plastik.

#### Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

*Polyethylene Terephthalate* (PET) memiliki karakteristik kejernihan dan transparansi, kekuatan, ketahanan terhadap pelarut, kebocoran gas dan air, serta menjadi lembut pada suhu 180°C dan mengalami titik leleh sempurna pada suhu 200°C. Oleh karena itu, tidak disarankan untuk digunakan dengan air hangat, apalagi air panas. Untuk jenis material ini, direkomendasikan hanya untuk penggunaan sekali pakai dan tidak digunakan untuk menampung atau mengolah makanan dengan suhu di bawah 60°C (Okatama, 2016).

#### Klasifikasi Plastik

Plastik secara umum dapat dikelompokkan menjadi tujuh jenis, yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density* *Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan Bahan Plastik Lain (BPA, *Polycarbonate*, dan *LEXAN*).

Berdasarkan respons plastik terhadap perubahan suhu, terdapat dua kategori plastik. Pertama yaitu, ada *thermoplastic*, yang meleleh pada suhu tertentu, dapat menyesuaikan bentuknya dengan perubahan suhu, dan bersifat *reversibel* (dapat kembali ke bentuk semula atau mengeras ketika didinginkan). Contoh jenis plastik ini antara lain *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Poliviniklorida* (PVC), *Polistirena* (PS). Kedua yaitu, terdapat *Thermoset* atau *thermodursisabel*, jenis plastik ini tidak dapat menyesuaikan bentuknya dengan perubahan suhu (tidak *reversibel*). Setelah mengeras, bahan ini tidak dapat digunakan kembali, dan pemanasan dengan suhu tinggi tidak akan melunakkan plastik ini, melainkan akan membentuk arang dan terurai. Oleh karena sifat thermoset yang demikian, plastik ini banyak digunakan sebagai tutup ketel.

A collage of different types of plastic

Description automatically generated

Gambar 2.1 Nomor kode dan jenis-jenis plastik

(Sumber : Parahdiba et al., 2021)

### Jenis-Jenis Mesin Pembuat Filamen Printer 3D

#### Mesin *Ekstruder*

Ekstrusi merujuk pada proses berkelanjutan di mana plastik bahan baku meleleh dan dibentuk menjadi panjang secara terus menerus dengan ukuran yang konsisten. Dipasaran, terdapat berbagai jenis *ekstruder* yang umum digunakan, seperti *ekstruder* ulir tunggal dan *ekstruder* ulir ganda (*twin*), yang sering digunakan dalam produksi bahan daur ulang limbah plastik. Model-model ini menjadi pilihan yang ideal untuk mengubah kembali bahan yang sudah tidak terpakai, karena mampu efektif mengatur daya tekan mekanis di dalam barrel mesin *ekstruder* (Atmoko, 2022).

Karena keterbatasan proses pada mesin ekstruder sebelumnya, ekstruder dengan ulir kemudian dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan seperti industri kabel. Konsep awal ekstruder ulir tunggal pertama kali ditemukan pada tahun 1873 oleh Phoenix Gummiwarke A.G., seperti yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut (Atmoko, 2022).

Diagram of a screw drive

Description automatically generated

Gambar 2.2 Mesin ekstruder hermoplastik

(Sumber : Atmoko, 2022)

#### Mesin *Pultrusion*

Mesin *pultrusion* adalah mesin yang untuk menghasilkan filamen dari botol plastik bekas dengan jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET), atau dari jenis botol plastik bekas yang lainnya. Cara kerjanya yaitu dengan cara menyayat botol plastik bekas sesuai dengan ukuran yang diinginkan, kemudian hasil sayatan ukuran tersebut dimasukkan kedalam nozel pemanas untuk kemudian di bentuk menjadi filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan hasil filamen tersebut kemudian ditarik dan di gulung dengan cara salah satunya yaitu menggunakan transmisi penggulung filamen atau dari jenis penarikan dan penggulungan filamen lainnya.

A white line drawing of a bottle

Description automatically generated

Gambar 2.3 Prinsip kerja mesin pultrusion

(Sumber : [www.zdnet.com](https://www.zdnet.com/article/this-device-recycles-plastic-water-bottles-into-3d-printing-filament-and-its-open-source/))

### Komponen-Komponen Mesin *Pultrusion*

#### Perangkat Lunak

##### *Repetier-Host*

*Repetier-Host* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengontrol dan mengelola printer 3D. Program ini kompatibel dengan berbagai jenis printer 3D dan digunakan untuk mengedit, mengiris, dan mengirim model 3D ke printer untuk dicetak.

##### *G – code*

*G-code* adalah bentuk bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengendalikan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). *G-code* berisi informasi mengenai posisi setiap titik kerja mesin. Sebagai kode persiapan, semua kode yang diawali dengan huruf G berfungsi sebagai perintah untuk mengatur jalannya setiap proses pada mesin. Perintah *G-code* umumnya mencakup instruksi seperti mengubah *pallet*, melakukan gerakan cepat, menentukan serangkaian gerakan terkendali, membentuk potongan benda kerja, melakukan gerakan bor, mengontrol pergerakan *feed* dalam garis busur atau lurus, serta menyimpan informasi alat (Umam, 2023).

##### *Finite Element Method* (FEM)

*Finite Element Method* (FEM) telah terbentuk menjadi inovasi kunci dan penting dalam menampilkan dan mereproduksi kerangka kerja perancangan inovatif di berbagai bidang seperti transportasi pembangunan. Dalam membangun kerangka desain yang didorong seperti itu, arsitek dan pencipta mengalami proses lanjutan untuk menampilkan, memperagakan, mewakili, investigasi, menguraikan, membuat prototipe, menguji, dan akhirnya, memproduksi.

Dengan analisis elemen hingga dapat memprediksi perilaku prototipe bagaimana hal itu dipengaruhi oleh berbagai efek fisik seperti tekanan mekanik, getaran mekanis, kelelahan, gerakan, perpindahan panas, aliran fluida, elektrostatika dan banyak lainnya.

##### *Finite Element Analysis* (FEA)

*Finite Element Analysis* (FEA) merupakan alat komputasi yang digunakan dalam analisis teknik, metode ini melibatkan teknik pembuatan *mesh* untuk membagi masalah kompleks menjadi elemen-elemen kecil serta pemanfaatan perangkat lunak yang dikodekan dengan algoritma *Finite Element Method* (FEM). Dalam penerapannya, FEA digunakan untuk menganalisis sistem fisik yang kompleks, di mana prinsip fisika yang mendasari sistem tersebut meliputi persamaan balok Euler-Bernoulli, persamaan panas, atau persamaan Navier-Stokes, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial parsial (PDE) atau persamaan integral. Elemen-elemen kecil yang terbentuk dari pembagian masalah kompleks ini merepresentasikan berbagai area dalam sistem fisik.

##### SolidWorks

SolidWorks adalah program komputer bantu desain solid (CAD) dan teknik bantu komputer (CAE) yang beroperasi di lingkungan Microsoft Windows. Dikembangkan oleh Dassault Systems, SolidWorks telah menjadi pilihan bagi lebih dari dua juta insinyur dan desainer yang berasal dari lebih dari 165.000 perusahaan pada tahun 2013. Kelebihannya meliputi keandalan dan biaya yang terjangkau untuk pengguna di dunia akademis dan industri, antarmuka toolbar yang baik dan sederhana, kemudahan pembelajaran, serta popularitasnya yang tinggi di kalangan akademisi dan industri (Kotkar et al., 2018).

##### *Meshing*

*Meshing* pada dasarnya adalah pembagian seluruh model menjadi sel kecil sehingga pada setiap sel persamaan diselesaikan. Ini memberikan solusi yang akurat dan juga meningkatkan kualitas solusi. *Meshing* dilakukan untuk mendiskretisasikan geometri yang dibuat menjadi potongan-potongan kecil yang disebut elemen atau sel. Dilakukan untuk mendiskritisasi geometri yang dibuat menjadi potongan-potongan kecil yang disebut komponen atau sel.

A diagram of different shapes

Description automatically generated

Gambar 2.4 *Meshing* pada plat

(Sumber : Wibowo & Pramono, 2018)

##### Kontrol *Mesh*

***Mesh control*** pada simulasi SolidWorks adalah fitur yang memungkinkan pengguna untuk mengatur ukuran elemen *mesh* pada bagian tertentu dari model untuk meningkatkan akurasi simulasi tanpa secara signifikan meningkatkan waktu perhitungan.

A computer generated image of a pipe

Description automatically generated with medium confidence

Gambar 2.5 Kontrol *mesh*

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2025)

##### Simulasi *Static*

Dalam simulasi **SolidWorks (SolidWorks *Simulation*), *static*** merujuk pada ***Static Analysis*** atau **Analisis Statis**, yang digunakan untuk menganalisis bagaimana suatu benda atau struktur berperilaku di bawah beban tetap atau konstan.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Gambar 2.6 Simulasi *static*

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2025)

#### Elemen Pemanas

*Heater*, atau yang sering disebut sebagai pemanas, merupakan jenis pemanas yang menggunakan arus listrik sebagai input daya untuk menghasilkan panas. Umumnya, arus listrik yang digunakan adalah arus bolak-balik (AC). Pengembangan teknologi heater melibatkan pendekatan yang tidak menggunakan api untuk memanaskan benda, melainkan dengan memanfaatkan induksi yang dihasilkan dari arus listrik bolak-balik yang mengalir melalui koil yang terbuat dari tembaga.

Arus listrik bolak-balik ini menciptakan medan elektromagnetik yang mengalami perubahan intensitas. Salah satu contoh pemanfaatan teknologi ini adalah dalam bentuk kompor pemanas air yang dikenal sebagai heater induksi. Dalam konteks pembentukan filamen pada printer 3D, heater ini menggunakan prinsip yang sama dengan fungsi dan bentuk yang serupa untuk memanaskan plastik agar dapat dicetak atau dibentuk menjadi filamen secara konsisten dan efisien. Pada heater ini, panas disalurkan melalui konduksi, yaitu perpindahan kalor melalui zat padat tanpa perpindahan partikel. Proses konduksi ini terjadi ketika panas mengalir dari tempat dengan suhu tinggi menuju tempat yang suhunya lebih rendah.

##### *Heater* Printer 3D

*Heater* pada printer 3D merupakan perangkat yang memiliki kemampuan mengubah arus listrik menjadi energi panas. Fungsinya adalah mengalirkan panas ke dalam *heat block*, kemudian mengalokasikannya ke nosel *brush* dan sensor panas. Berikut ini adalah gambar dari *heater* printer 3D (Umam, 2023).

A red wire with a silver tip

Description automatically generated

Gambar 2.7 Heater printer 3D

(Sumber : ww.t[okopedia.com](http://www.tokopedia.com/))

##### Printer 3D *Thermistor*

*Thermistor* 100k pada printer 3D merupakan sensor suhu yang berfungsi untuk mendeteksi panas pada komponen pemanas. Sensor ini mengubah sinyal panas menjadi arus listrik, yang kemudian dikirim ke Arduino untuk mengontrol proses pemanasan (Umam, 2023).

A close-up of a white wire

Description automatically generated

Gambar 2.8 Printer 3D Thermistor 100k

(Sumber : www.t[okopedia.com](http://www.tokopedia.com/))

##### *Heat Block*

*Heat block* adalah bagian pemanas yang terdapat pada printer 3D. Fungsinya adalah untuk menjadi tempat penyatuan bagi heater 3D, sensor pemanas, dan nosel *brush* sehingga membentuk satu kesatuan (Umam, 2023).

A small metal block with screws

Description automatically generated

Gambar 2.9 Heat block

(Sumber : www.t[okopedia.com](http://www.tokopedia.com/))

##### Nosel

Noseladalah bagian tipis berbentuk pipa yang digunakan untuk mengatur kecepatan aliran fluida gas atau cairan. Noseldapat mempercapat laju aliran dan mengarahkannya ke tempat tertentu karena ujungnya yang lebih sempit dari pada bagian lainnya.

A gold object with a point

Description automatically generated

Gambar 2.10 Nosel

(Sumber: www.shopee.com)

#### *Cooling fan*

*Cooling fan* atau kipas pendingin adalah sebuah perangkat yang dirancang untuk menghilangkan panas dari suatu objek atau lingkungan, ada beberapa jenis *cooling fan* di antaranya :

1. *Case fan*, digunakan pada casing computer untuk mengeluarkan udara panas dari dalam casing.
2. *CPU fan*, dipasang di atas CPU pada *motherboard* untuk mendinginkan suhu CPU.
3. *GPU fan*, terdapat pada GPU untuk mendinginkan suhu GPU yang meningkat saat bekerja dalam grafis yang berat.

*Cooling fan* yang digunakan pada mesin pultrusion ini menggunakan jenis *CPU fan* ukuran 6 cm dengan gambar sebagai berikut.

A small black fan with wires

Description automatically generated

Gambar 2.11 Cooling fan CPU

(Sumber : www.shopee.com)

#### *Stepper* Motor NEMA 17

Stepper motorNema 17 adalah *stepper* motor yang memiliki pelat muka dengan ukuran 1,7 x 1,7 inci (42 x 42 mm). *Stepper* motor torsi tinggi Nema 17 menyajikan nilai yang sangat baik tanpa mengorbankan kualitas. Versi dengan sudut langkah 0,9° menawarkan tingkat presisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan versi motor 1,8° yang umumnya digunakan. Desain motor ini bertujuan untuk menghasilkan torsi sebesar mungkin sambil meminimalkan getaran dan kebisingan yang dapat terdengar. Terdapat berbagai opsi gulungan motor dan panjang tumpukan yang sudah tersedia, atau motor dapat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan peralatan berat tertentu. Dan juga dapat menyesuaikan jumlah belitan agar sesuai dengan voltase, arus, dan torsi maksimum yang dibutuhkan pada kecepatan pengoperasian (Umam, 2023).

S*tepper* motor jenis NEMA 17 adalah tipe *stepper* motor yang beroperasi dengan membagi satu putaran penuh menjadi sejumlah langkah yang memiliki ukuran yang sama, yang dikenal sebagai langkah per revolusi (SPR). Dengan memberikan energi pada kumparan motor dalam urutan tertentu, poros motor dapat berputar secara bertahap. Hal ini membuatnya menjadi opsi yang sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol posisi yang presisi, seperti pada printer 3D dan mesin CNC (Umam, 2023).

A small black and silver electric motor

Description automatically generated

Gambar 2.12 Motor stepper NEMA 17

(Sumber : ww.t[okopedia.com](http://www.tokopedia.com/))

#### Transmisi Penggulung filamen

##### Poros

Poros adalah komponen penting dalam setiap mesin, berperan dalam mentransmisikan tenaga bersamaan dengan putaran. Dalam sistem transmisi, poros memiliki peran utama dalam menyalurkan daya dari satu bagian ke bagian lainnya (Sularso & Suga, 2013).

###### Jenis-Jenis Poros

Poros yang digunakan untuk mentransmisikan daya diklasifikasikan berdasarkan jenis pembebanannya sebagai berikut.

Poros Transmisi

Poros jenis ini mengalami beban puntir murni atau kombinasi antara puntir dan lentur. Daya disalurkan ke poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk, sproket rantai, dan mekanisme transmisi lainnya (Sularso & Suga, 2013).

Spindel

Poros transmisi yang memiliki panjang relatif pendek, seperti poros utama pada mesin perkakas, yang menerima beban utama berupa puntiran, dikenal sebagai spindel. Poros ini harus memenuhi persyaratan deformasi minimal serta memiliki bentuk dan ukuran yang presisi (Sularso & Suga, 2013).

Gandar

Poros semacam ini dipasang di antara roda-roda kereta barang dan tidak menerima beban puntir. Berdasarkan bentuknya, poros dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis, seperti poros lurus konvensional, poros engkol yang berfungsi sebagai poros utama pada mesin torak, serta poros fleksibel yang digunakan untuk transmisi daya kecil guna memungkinkan perubahan arah dengan lebih leluasa. (Sularso & Suga, 2013).

###### Hal-Hal Penting dalam Perancangan Poros

Dalam merancang sebuah poros, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Seperti kekuatan poros, kekakuan poros, putaran kritis, dan korosi, dimana penjelasanya sebagai berikut.

Kekuatan Poros

Poros transmisi dapat mengalami berbagai jenis beban, seperti puntir, lentur, atau kombinasi keduanya, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Selain itu, beberapa poros juga dapat menerima beban tarik atau tekan, seperti yang terjadi pada poros baling-baling kapal atau turbin. Faktor-faktor seperti kelelahan material, tumbukan, serta konsentrasi tegangan akibat perubahan diameter (poros bertangga) atau adanya alur pasak harus diperhitungkan. Oleh karena itu, perancangan poros harus memastikan bahwa komponen tersebut memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan berbagai beban tersebut (Sularso & Suga, 2013).

Kekakuan Poros

Meskipun sebuah poros memiliki kekuatan yang memadai, lenturan atau defleksi puntir yang berlebihan dapat menyebabkan ketidakakuratan pada mesin perkakas serta menimbulkan getaran dan kebisingan, seperti pada turbin dan kotak roda gigi. Oleh karena itu, selain mempertimbangkan kekuatan poros, aspek kekakuannya juga perlu diperhatikan dan disesuaikan dengan jenis mesin yang akan menggunakan poros tersebut (Sularso & Suga, 2013).

Putaran Kritis

Ketika kecepatan putaran suatu mesin meningkat, pada tingkat putaran tertentu dapat timbul getaran yang sangat besar, yang dikenal sebagai putaran kritis. Fenomena ini dapat terjadi pada berbagai mesin seperti turbin, motor torak, dan motor listrik, serta berisiko menyebabkan kerusakan pada poros maupun komponen lainnya. Oleh karena itu, jika memungkinkan, poros harus dirancang sedemikian rupa agar kecepatan operasionalnya tetap berada di bawah putaran kritis (Sularso & Suga, 2013).

Korosi

Untuk poros propeler dan pompa yang bersentuhan dengan fluida korosif, sebaiknya digunakan bahan yang tahan terhadap korosi, termasuk plastik. Hal yang sama berlaku untuk poros yang berisiko mengalami kavitasi atau poros mesin yang sering tidak beroperasi dalam waktu lama. Selain itu, perlindungan terhadap korosi juga dapat diterapkan hingga batas tertentu. (Sularso & Suga, 2013).

##### Roda Gigi

Roda gigi merupakan komponen yang berfungsi untuk menyalurkan daya melalui gerakan berputar dengan melibatkan dua atau lebih gir yang saling bersinggungan. Daya ini diteruskan dari motor dinamo melalui gir, kemudian disalurkan ke komponen berikutnya untuk mengatur rasio, torsi, serta mengubah arah putaran. Roda gigi memiliki berbagai jenis, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya. Jenis-jenis roda gigi dapat dilihat pada gambar berikut.

A diagram of different gears

Description automatically generated with medium confidence

Gambar 2.13 Jenis-jenis roda gigi

(Sumber : Sularso & Suga, 2013)

### Filamen dan Printer 3D

#### Filamen Printer 3D

Filamen printer 3D adalah bahan yang digunakan oleh printer 3D jenis *Fused Deposition Modeling* (FDM) atau *Fused Filament Fabrication* (FFF) untuk mencetak objek tiga dimensi. Filamen ini berbentuk seperti kawat panjang yang digulung dalam spool dan dibuat dari berbagai jenis material.

##### *Acetonitrile Butadiene Styrene* (ABS)

Filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) adalah material berbiaya rendah dengan karakteristik mekanik yang unggul. Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) memiliki tingkat ketangguhan serta ketahanan terhadap benturan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk mencetak komponen yang kuat dan tahan lama.

A spool of black wire

Description automatically generated

Gambar 2.14 Filamen ABS

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.1 Data material filamen ABS (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 43 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 22 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 66 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 1177 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 29 kJ/m2 |

##### *Polylactic Acid* (PLA)

*Polylactic Acid* (PLA) merupakan material yang ramah lingkungan. Filamen *Polylactic Acid* (PLA) untuk printer 3D mudah digunakan dan menghasilkan model cetakan dengan permukaan yang halus. Dibandingkan dengan filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polylactic Acid* (PLA) memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi, menyerupai PC, serta tidak memerlukan penutupan rongga. Selain itu, filamen *Polylactic Acid* (PLA) memiliki tingkat penyusutan yang rendah, tidak mudah melengkung atau retak, dan cocok untuk mencetak model berukuran besar.

A spool of filament

Description automatically generated

Gambar 2.15 Filamen PLA

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.2 Data material filamen PLA (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 72 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 11.8 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 90 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 1915 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 5.4 kJ/m2 |

##### *High Impact Polystyrene* (HIPS)

*High Impact Polystyrene* (HIPS), yang dapat larut sepenuhnya dalam *limonene*, sering dimanfaatkan sebagai material pendukung dalam pencetakan 3D. Filamen yang larut ini tidak meninggalkan residu pada permukaan model setelah dilarutkan, sehingga menghasilkan permukaan kontak yang halus dan rata. Selain itu, kinerja pencetakan filamen *High Impact Polystyrene* (HIPS) memiliki karakteristik yang mirip dengan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS).

A spool of black wire

Description automatically generated

Gambar 2.16 Filamen HIPS

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.3 Data material filamen HIPS (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 27 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 55 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 39 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 2280 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 11 kJ/m2 |

##### *Nylon*

Dikembangkan dari kopolimer nilon 6/66, material ini memiliki ketahanan aus dengan sifat pelumasan sendiri, sehingga ideal untuk mencetak roda gigi. Dengan ketangguhan tinggi dan ketahanan terhadap benturan, material ini memiliki perpanjangan putus hingga 175%, memungkinkan pencetakan komponen yang kuat, tahan lama, dan tidak mudah patah. Selain itu, material ini memiliki tingkat penyusutan yang rendah, sehingga tidak mudah melengkung atau retak selama proses pencetakan.

A close-up of a spool of clear plastic

Description automatically generated

Gambar 2.17 Filamen ePA

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.4 Data material filamen ePA (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 52.45 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 175.32 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 58 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 1370 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 18.4 kJ/m2 |

##### *Polyvinyl Alcohol* (PVA)

*Polyvinyl Alcohol* (PVA) adalah bahan yang larut dalam air dan sering digunakan sebagai material pendukung tanpa memerlukan bahan kimia tambahan atau perlakuan khusus. Dengan perendaman dalam air hangat, bahan ini dapat larut lebih cepat. Setelah larut, tidak meninggalkan residu pada permukaan model, sehingga menghasilkan hasil akhir yang halus. *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dapat digunakan bersama dengan *Polylactic Acid* (PLA), *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), PA (nilon), dan material lainnya untuk mencetak model dengan bentuk yang sangat kompleks atau sebagai penyangga untuk model dengan rongga tertutup sebagian. Selain itu, bahan ini juga menjadi pilihan yang baik untuk printer dengan multi-nozzle.

A spool of yellow wire

Description automatically generated

Gambar 2.18 Filamen PVA

(Sumber : [www.esun3d.com](http://www.esun3d.com))

Tabel 2.5 Data material filamen PVA (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 22 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 360 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | N/A |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | N/A |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | N/A |

##### *Glycol-modified Polyethylene Terephthalate* (PETG)

Filamen *Glycol-modified Polyethylene Terephthalate* (PETG) merupakan material printer 3D dengan performa tinggi yang memiliki ketahanan terhadap air, bahan kimia, serta tingkat ketangguhan yang tinggi.



Gambar 2.19 Filamen PETG

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.6 Data material filamen PETG (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 52.2 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 83 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 58.1 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 1073 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 4.7 kJ/m2 |

##### *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) memiliki fleksibilitas tinggi dengan tingkat kekerasan 95A, mudah dicetak, dan mampu menghasilkan *prototipe elastomer* berukuran besar, kompleks, dan presisi dalam waktu singkat. Dengan elastisitas yang sangat baik, hasil cetakan menggunakan filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) tidak mudah mengalami deformasi.

A spool of black wire

Description automatically generated

Gambar 2.20 Filamen eTPU-95A

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.7 Data material filamen eTPU-95A

(Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 35 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | ≥800 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | N/A |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | N/A |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | N/A |

##### Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA)

Filamen *Acrylonitrile Styrene Acrylate* (ASA) memiliki karakteristik yang mirip dengan filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), tetapi lebih tahan terhadap sinar ultraviolet dan kondisi cuaca ekstrem. Selain itu, sebagai bahan untuk pencetakan 3D, filamen *Acrylonitrile Styrene Acrylate* (ASA) memiliki ketangguhan tinggi, kekakuan yang kuat, serta daya tahan yang baik terhadap benturan.

A spool of black wire

Description automatically generated

Gambar 2.21 Filamen eASA

(Sumber : www.esun3d.com)

Tabel 2.8 Data material filamen eASA (Sumber : www.esun3d.com)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Mechanical Properties* | *Testing Method* | *Typical Value* |
| *Tensile Strength* | GB/T 1040 | 50 MPa |
| *Elongation at Break* | GB/T 1040 | 30 % |
| *Flexural Strength* | GB/T 9341 | 35 MPa |
| *Flexural Modulus* | GB/T 9341 | 4300 MPa |
| *IZOD Impact Strength* | GB/T 1843 | 19 kJ/m2 |

#### Printer 3D

Teknologi printer 3D pertama kali muncul pada tahun 1980-an, dan Chuck Hull dari 3D Systems Corp adalah pencipta pertama. Sejak itu, penggunaan dan perkembangan printer 3D terus meningkat. Pencetakan 3D melibatkan penggunaan mesin khusus yang memungkinkan pembuatan objek dalam bentuk 3D sesuai dengan gambar soft file-nya. Mesin ini memiliki tingkat kecanggihan yang memungkinkannya untuk mencetak objek fisik dengan presisi, tidak hanya sebatas mencetak gambar pada kertas seperti mesin cetak tradisional.

Hasil dari teknologi printer 3D digunakan secara meluas dalam berbagai bidang, termasuk *prototyping* (model), serta industri-industri seperti arsitektur, otomotif, militer, industri medis, *fashion*, sistem informasi geografis, dan bahkan dalam bioteknologi seperti penggantian jaringan tubuh manusia. Sebagai contoh, salah satu merek terkemuka di dunia saat ini telah menerapkan teknologi printer 3D dalam pembuatan sepatu mereka. Dalam hal ini, sepatu dapat dicetak dengan menggunakan 3D printer, yang memungkinkan tingkat kustomisasi yang tinggi sesuai dengan keinginan pengguna sepatu tersebut.

Di mesin printer 3D, kualitas produk dipengaruhi oleh *infill* cetak, yaitu tingkat kepadatan serat cetak pada objek yang dihasilkan. Tingkat *infill* ini mempengaruhi kekuatan produk secara keseluruhan, dan dapat diatur dari 0% hingga 100%. Secara umum, pada printer 3D, tingkat *infill* yang sering digunakan berkisar antara 40% hingga 100%.

##### *Fused Deposition Modeling* (FDM)

*Fused Deposition Modeling* (FDM) bekerja dengan cara melelehkan plastik lalu mendesaknya keluar melalui nosel secara terkontrol untuk membuat objek 3D secara lapis demi lapis. Keunggulannya antara lain harga murah dan mudah digunakan meski resolusi standar.

A white object on a black surface

Description automatically generated

Gambar 2.22 Mesin printer 3D FDM

(Sumber : www.bhphotovideo.com)

##### *Stereolithograpy* (SLA)

*Stereolithograpy* (SLA) menggunakan laser ultraviolet untuk mengeraskan resin cair fotosensitif menjadi bentuk 3D secara bertahap. Menghasilkan objek dengan resolusi tinggi dan permukaan halus meski membutuhkan biaya operasional mahal.

A machine with an orange light

Description automatically generated

Gambar 2.23 Mesin printer 3D SLA

(Sumber : www.scanse.com)

##### *Selective Laser Sintering* (SLS)

*Selective Laser Sintering* (SLS) meleburkan partikel bubuk plastik menggunakan laser berkekuatan tinggi hingga menyatu membentuk objek fungsional kompleks dengan kekuatan mekanik baik.

A large grey and white machine

Description automatically generated

Gambar 2.24 Mesin printer 3D SLS

(Sumber : pick3dprinter.com)

### Langkah Proses dan Prinsip Kerja Mesin Printer 3D

#### Membuat Model 3D Melalui *Software* Komputer (CAD)

Perangkat lunak ini memiliki kemampuan untuk memberikan panduan struktural kepada produk yang sudah jadi, dan juga menyediakan informasi ilmiah mengenai bahan-bahan spesifik untuk menciptakan simulasi virtual mengenai bagaimana objek tersebut akan berperilaku dalam kondisi tertentu (Ardiyanto, 2021).

A computer screen shot of a machine

Description automatically generated

Gambar 2.25 Proses desain CAD

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2025)

#### Mengonversi Gambar CAD ke dalam Format STL

Format ini adalah kependekan dari standar *tesselation* atau format file yang dikembangkan pada tahun 1987 untuk sistem 3D. Format ini digunakan oleh perusahaan perangkat *stereolithography* (SLA). Sebagian besar printer 3D dapat mengakses file STL (Ardiyanto Didit, 2021).

A drawing of a red object

Description automatically generated

Gambar 2.26 Konversi desain ke format STL

(Sumber : Ardiyanto, 2021)

#### Transfer STL ke Printer 3D

Pada tahap ini, dilakukan proses penggandaan file STL ke komputer yang mengontrol printer 3D. Proses ini bertujuan untuk menetapkan dimensi dan orientasi cetakan, mirip dengan langkah-langkah yang diambil dalam mencetak dokumen dengan printer 2D, di mana dapat memilih antara orientasi *landscape* atau *portrait* (Ardiyanto Didit, 2021).

A computer on a table

Description automatically generated

Gambar 2.27 Komputer yang dihubungkan ke mesin printer 3D

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2024)

#### *Machine Setup*

Setiap mesin memiliki aturan khusus untuk melakukan tahap persiapan. Langkah ini mencakup aktivitas seperti pengisian polimer, penggunaan pengikat, dan penggunaan bahan habis pakai lainnya.

A close-up of a spool of black wire

Description automatically generated

Gambar 2.28 Filamen sebagai bahan untuk melakukan cetak 3D

(Sumber : www.esun3d.com)

#### Pencetakan

Biarkan mesin mengeksekusi tugas ini secara otomatis, karena setiap lapisan umumnya memiliki ketebalan sekitar 0,1 mm atau bahkan lebih tipis. Karena ketebalannya yang sangat halus, proses ini dapat berlangsung selama berjam-jam atau bahkan berhari-hari. Penting untuk secara rutin memeriksa mesin guna memastikan tidak terjadi kesalahan dalam proses (Ardiyanto, 2021).

A black and yellow machine

Description automatically generated

Gambar 2.29 Proses printer 3D tipe FDM

(Sumber : Ardiyanto, 2021).

#### *Removal*

Ambil objek yang telah dicetak dari mesin, pastikan untuk menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) agar terhindar dari potensi cedera. Contohnya, gunakan sarung tangan untuk melindungi tangan dari permukaan yang panas (Ardiyanto, 2021).

A red object on a printer

Description automatically generated

Gambar 2.30 Proses pengangkatan objek

(Sumber : Ardiyanto, 2021).

#### *Post Processing*

Banyak printer 3D membutuhkan tahap pascaproses untuk objek yang telah dicetak, seperti membersihkan sisa bubuk atau mencuci objek cetak dengan air (Ardiyanto, 2021).

A person holding a plastic tube

Description automatically generated

Gambar 2.31 Proses pencucian objek printer 3D (tidak wajib)

(Sumber : Ardiyanto Didit, 2021)

## Tinjauan Pustaka

1. Y. Martin dan A. Suwandi, Jurnal Asiimetrik : Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi Volume 2.2, Juli 2020, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila. “Analisis Simulasi Tegangan Roda Gigi Pada *Fishing Deck Machinery* Tipe Hidrolik”. “Indonesia dikenal sebagai negara dengan sumber daya alam yang melimpah, termasuk di sektor perikanan dan kelautan, di mana tingkat konsumsi ikan terus meningkat setiap tahunnya. Seiring dengan peningkatan permintaan ikan, diperlukan alat tangkap yang lebih efisien untuk mendukung produktivitas, salah satunya adalah alat bantu tangkap ikan berupa fishing deck machinery tipe hidrolik. Alat ini memanfaatkan roda gigi untuk memutar tiang pengangkatnya. Berdasarkan fungsinya, roda gigi menjadi komponen krusial dalam menopang beban tiang serta elemen lain yang bergerak berputar. Jenis roda gigi yang digunakan adalah roda gigi lurus. Analisis tegangan roda gigi dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, sementara perancangannya menggunakan Inventor. Dengan analisis tegangan ini, pemilihan dimensi dan material roda gigi dapat dioptimalkan untuk aplikasinya”.
2. Igor Tylman and Kazimierz Dzierżek, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* Vol. 9, No. 10, October 2020, *Department of Robotics and Mechatronics*, *Faculty of Mechanical Engineering, Bialystok University of Technology*, “*Filament for a 3D Printer from Pet BottlesSimple Machine*”. “Bagian pertama artikel mengilustrasikan tahapan penyiapan bahan dari botol, serta struktur mekanis yang sebagian besar dibuat dari bagian cetakan 3D. Bagian kedua artikel menjelaskan sistem listrik dan elektronik, yang bertugas mengontrol suhu, kecepatan pemintalan filamen, serta proses pendinginan dan pemanasan kepala pencetak. Bagian ketiga artikel ini membahas proses pembuatan filamen dan operasional mesin. Bagian terakhir makalah ini menampilkan hasil eksperimen, perbandingan fitur, dan parameter, seperti ketahanan suhu, uji tarik kekuatan, atau struktur fisik dengan filamen yang populer di pasaran”.
3. Nursyahbani Putri, Ikhlas Abdullah, Dimas Fahmi Fahrul Roji, 2021, Program Studi D-4 Teknik Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Padang, “Rancang Bangun Mesin Ektrusi Pembuat Filamen Dengan Sistem *Screw Conveyor*”. “Plastik merupakan salah satu material yang banyak digunakan di berbagai bidang, mulai dari industri, pendidikan, hingga kebutuhan rumah tangga. Saat ini, terdapat berbagai metode pemanfaatan dan teknologi pengolahan plastik, salah satunya adalah penggunaannya sebagai bahan dalam pencetakan 3D, yang dikenal sebagai filamen. Filamen ini memiliki berbagai jenis berdasarkan bahan dan fungsinya. Salah satu metode pembuatan filamen adalah melalui proses ekstrusi menggunakan mesin ekstruder. Mesin ekstrusi plastik berfungsi untuk membentuk material dengan cara melelehkan cacahan plastik pada suhu tinggi, kemudian mencetaknya kembali sesuai bentuk yang diinginkan. Mesin ini menggunakan ulir daya yang dirancang khusus untuk menghantarkan dan menggerakkan material selama proses ekstrusi. Rancangan mesin ekstrusi ini dibuat dengan model horizontal dan menggunakan *screw conveyor* sebagai sistem penggerak material. Mesin ekstrusi pembuat filamen diuji menggunakan bijih plastik HDPE, dengan spesifikasi putaran *screw* sebesar 31,81 rpm dan daya pemanas *band heater* sebesar 915 watt. Prinsip kerja mesin ini mengandalkan *screw conveyor* dengan *standard flight*, karena ulir hanya berfungsi untuk mendorong material menuju ujung nozzle. Dimensi *screw conveyor* yang digunakan memiliki panjang 500 mm, diameter 50 mm, dan jarak antar *pitch* 25 mm, sedangkan ukuran keseluruhan mesin adalah 800 x 400 x 600 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan material *polyethylene pellet* HDPE pada lima variasi suhu, yaitu 120°C, 110°C, 100°C, 95°C, dan 90°C. Hasil uji menunjukkan bahwa suhu 100°C menghasilkan keluaran filamen paling optimal. Pada suhu 120°C dan 110°C, material menjadi terlalu cair, sedangkan pada suhu 90°C dan 95°C, material mengering terlalu cepat sehingga menyebabkan penyumbatan pada nozzle”.
4. Ruben Sanilo, Budi Setiyana, M Tauviqirrahman, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 11, No. 4, Tahun 2023, “Analisis *Contact Stress* Dan *Bending Stress* Pada *Spur Gear* Menggunakan Metode Elemen Hingga Dan Teoritis Dengan Variasi Jenis Material”. “Penggunaan roda gigi semakin berkembang, memungkinkan berbagai material baru digunakan untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan kerja. Material seperti kuningan, aluminium, dan nilon menjadi alternatif yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan berbagai material roda gigi dengan menggunakan metode perhitungan Hertz, Lewis, dan analisis elemen hingga guna menentukan besaran tekanan kontak, tegangan lentur, serta torsi kritis suatu material. Roda gigi pinion diberikan variasi torsi tertentu pada porosnya untuk menghasilkan tegangan dan tekanan pada gigi yang bersinggungan dengan roda gigi pasangannya. Tekanan kontak roda gigi yang dihitung menggunakan metode Hertz dan ANSYS bervariasi tergantung pada jenis material, yaitu baja karbon sebesar 86,62 MPa, kuningan 60,99 MPa, dan nilon 7,79 MPa pada torsi 10 Nm. Torsi kritis diperoleh dengan menghitung kembali nilai torsi saat tegangan atau tekanan mencapai batas kekuatan luluh dari masing-masing material uji. Kegagalan pada roda gigi berbahan baja karbon dan kuningan terjadi dalam bentuk deformasi pada area kontak gigi, sedangkan pada roda gigi berbahan nilon, deformasi lebih dominan terjadi pada bagian kaki gigi”.
5. Muhammad Taufik, Gita Suryani Lubis, Muhammad Ivanto, Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN), Vol. 4, No. 1, 2023: 01-08, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tanjungpura, “Rancang Bangun Mesin *Pultrusion* Pembuat Filamen 3D Printing Berbasis Limbah Plastik Botol PET.” “Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan jenis plastik yang banyak digunakan untuk pembuatan botol minuman sekali pakai. Penggunaannya yang berlebihan dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, terutama karena waktu penguraian PET yang relatif lama, memerlukan bertahun-tahun untuk terurai secara alami. Saat ini, metode daur ulang limbah PET masih terbatas, sehingga sulit untuk mengolahnya menjadi produk setengah jadi maupun produk jadi yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Namun, PET memiliki sifat yang mudah dibentuk kembali, sehingga salah satu cara pemanfaatan limbah ini adalah dengan mendaur ulangnya menjadi filamen. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin pultrusion untuk pembuatan filamen dari limbah PET. Mesin ini dikendalikan menggunakan Arduino, yang berperan dalam mengatur suhu serta kecepatan tarikan. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen, di mana kipas pendingin ditambahkan selama proses penarikan filamen untuk mempercepat pengerasan dan memastikan diameter filamen tetap seragam. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi suhu sebesar 205°C dan kecepatan tarikan 30 rpm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa filamen yang dihasilkan memiliki diameter yang seragam, permukaan halus, serta warna yang mengkilap”.
6. Nasihul Umam, 2023, Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Dipenogoro Semarang, “Rancang Bangun Alat Pembentuk Filament 3D Printer Dari Botol Plastik Merk Crystalin Dan Club”. “Saat ini, limbah botol plastik minuman semakin banyak digunakan sebagai material plastik. Karena kemasan botol plastik yang tidak ramah lingkungan, limbah ini dapat dimanfaatkan kembali dengan mengolahnya menjadi berbagai benda menggunakan teknologi pencetakan 3D (printer 3D). Printer 3D adalah perangkat yang dikendalikan oleh komputer untuk mencetak objek dengan cara memanaskan *filament* dan membentuknya sesuai desain melalui nozzle yang diatur oleh program komputer. Dalam penelitian ini, *filament* yang digunakan dibuat dari limbah botol plastik yang sudah tidak terpakai. Proses pembuatan *filament* ini dilakukan dalam lima tahap, yaitu perancangan desain, persiapan komponen dan bahan, perakitan komponen, pembentukan filament, serta analisis hasil pembentukan filament printer 3D. Desain alat pembentuk filament printer 3D dibuat menggunakan perangkat lunak CAD 2022. Alat ini bekerja dengan cara menyayat botol plastik menjadi pita, kemudian memanaskannya dan membentuknya menjadi filament. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa bagian *filament* memiliki permukaan yang tidak rata akibat corak botol plastik yang bervariasi. Hasil sayatan botol plastik memiliki lebar sekitar ± 9 mm dengan ketebalan ± 0,34 mm. Suhu pembentukan *filament* ditetapkan pada 230°C, yang menghasilkan *filament* dengan panjang sekitar ± 5,3 meter”.
7. Herru Santosa Budiono, Fuad Hilmy, Ikhwan Taufik, Jurnal E-Komtek Vol. 7, No. 1 (2023), *Department of Mechanical Engineering*, Universitas Tidar, “*The Effect of Printing Speed Variations on Dimensional Stability of 3D Printing Results Made from Waste Bottle Filament*”. “Teknologi pencetakan 3D semakin populer dalam beberapa tahun terakhir karena kemampuannya mencetak objek dengan cepat dan efisien. Material yang digunakan dalam proses pencetakan 3D dikenal sebagai filamen. Saat ini, pemanfaatan bahan daur ulang untuk produksi filamen printer 3D semakin berkembang dalam industri pencetakan. Salah satu material yang dapat didaur ulang menjadi filamen adalah botol plastik bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan pencetakan terhadap kestabilan dimensi objek hasil cetakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, dengan melakukan variasi kecepatan pencetakan pada printer 3D menggunakan filamen berbahan botol plastik bekas. Setiap variasi kecepatan pencetakan dilakukan sebanyak lima kali, kemudian dimensi objek hasil cetakan diukur menggunakan mikrometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pencetakan berpengaruh terhadap kestabilan dimensi objek yang dicetak menggunakan filamen dari botol plastik bekas”.
8. Heri Widiantoro, Ari Nur Ramdhani, dan Zainuddin, Suara Teknik - *Journal*, Vol. 14, No. 1, 27 Juni 2023, Politeknik Negeri Bandung, “Analisis Kekuatan Poros Penggulung pada Alat Daur Ulang Limbah Botol Plastik dengan Hasil Akhir Tali Plastik”. “Analisis kekuatan poros sangat penting dilakukan untuk memastikan poros mampu menahan beban sesuai dengan perencanaan. Poros yang dianalisis dalam penelitian ini berfungsi untuk menggulung tali plastik hasil penyayatan dari alat daur ulang limbah botol plastik, dengan produk akhir berupa tali plastik. Poros penggulung ini berperan dalam menghubungkan bantalan pada komponen spool, tempat terjadinya proses penggulungan, dengan komponen *base* samping yang berfungsi sebagai tumpuan tetap (*fix geometry*) dalam sistem penggulungan. Material yang digunakan untuk poros adalah *Polylactic Acid* (PLA) dalam bentuk filamen, yang diproduksi menggunakan mesin printer 3D berdasarkan model yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Analisis numerik dilakukan melalui komputasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan SolidWorks *Simulation*. Ukuran *mesh* yang digunakan dalam analisis ini bervariasi, yaitu 5 mm, 4 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm, 0,9 mm, 0,8 mm, 0,7 mm, 0,6 mm, dan 0,5 mm. Proses analisis menggunakan simulasi FEA dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu Persiapan, Komputasi, dan Evaluasi Hasil. Berdasarkan hasil simulasi FEA, tegangan maksimum terjadi pada daerah konvergen dengan nilai berturut-turut untuk ukuran mesh 1 mm, 0,9 mm, 0,8 mm, 0,7 mm, dan 0,6 mm adalah 1,73 MPa, 1,813 MPa, 1,868 MPa, 1,893 MPa, dan 1,973 MPa. Dari hasil analisis, diperoleh *safety factor* sebesar 25,4, yang menunjukkan bahwa poros aman digunakan selama proses penggulungan berlangsung”.
9. Manoj Nikam, Prasad Pawar, Ajinkya Patil, Anuj Patil, Kalpesh Mokal, Sandhya Jadhav, 19 Agustus 2023 *Department of Mechanical Engineering, Bharati Vidyapeeth College of Engineering*, “*Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic*”. “Luasnya penggunaan plastik telah mengakibatkan peningkatan jumlah sampah plastik dan menimbulkan masalah lingkungan global. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan melakukan investigasi terhadap potensi pembuatan filament 3D yang berkelanjutan menggunakan botol PET daur ulang. Pengaturan eksperimen kami melibatkan nosel berdiameter 1,6 mm dengan blok pemanas untuk memastikan kontrol suhu yang tepat selama proses ekstrusi filament, sehingga menghasilkan diameter filament yang dapat diulang dan konsisten sebesar 1,65 mm. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan filament konsisten dengan diameter 1,65 mm menggunakan botol PET daur ulang. Selain itu, analisis elemen hingga (FEA) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk membandingkan sifat mekanik filament PET dengan PLA, bahan konvensional yang sering digunakan dalam pencetakan 3D. Simulasi FEA digunakan untuk mengamati tegangan, regangan, dan perpindahan pada kedua bahan PET dan PLA, dan hasilnya dianalisis untuk menarik kesimpulan berdasarkan data numerik. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga mengenai potensi penggunaan botol PET daur ulang sebagai alternatif ramah lingkungan untuk filament pencetakan 3D. Upaya ini diarahkan untuk mengurangi jumlah sampah plastik serta mendorong adopsi praktik berkelanjutan dalam proses manufaktur aditif”.
10. Pebri Aryantoa, M Zaenudina, YKP Saleha, NC Hidayata, PROSING SNTTM XXI 2023, Volume 21, 5 Oktober 2023, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, “Pengaruh suhu dan analisis kekuatan material PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap ekstrusi pada mesin filamen maker 3D printer”. “Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu terhadap proses ekstrusi filamen pada material *Polyethylene Terephthalate* (PET) serta mengevaluasi kekuatan material filamen yang dihasilkan untuk aplikasi pada printer 3D. Filamen maker merupakan alat yang dirancang khusus dalam penelitian ini untuk menghasilkan filamen dengan kualitas optimal yang dapat digunakan dalam pencetakan 3D. Metode penelitian melibatkan pengujian suhu selama proses ekstrusi filamen, di mana berbagai suhu diuji untuk memahami dampaknya terhadap kualitas filamen yang dihasilkan. Selain itu, analisis kekuatan material filamen dilakukan melalui uji tarik guna menilai performa mekanisnya. Dalam proses pembuatan filamen 3D printer, bahan baku yang digunakan adalah botol bekas PET dengan tiga jenis suhu ekstrusi : PET-A (77,0°C), PET-L (77,0°C), dan PET-V (76,0°C). Filamen yang dihasilkan kemudian dicetak menjadi spesimen uji tarik menggunakan printer 3D, dengan variasi *density* sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil uji tarik menunjukkan perbedaan yang signifikan, terutama pada botol PET-A, dengan nilai sebagai berikut : 25% (14,81 MPa), 50% (16,36 MPa), 75% (23,23 MPa), dan 100% (33,51 MPa), menjadikan PET-A sebagai material dengan performa terbaik. Penelitian ini berkontribusi dalam memahami parameter suhu optimal dalam proses ekstrusi filamen serta memberikan wawasan mengenai kekuatan material filamen PET yang dihasilkan. Temuan ini penting dalam pengembangan teknologi printer 3D, di mana pemilihan dan pemrosesan material yang tepat menjadi faktor utama dalam menghasilkan cetakan berkualitas tinggi”.

# 

# METODOLOGI PENELITIAN

## Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam analisis kekuatan ini dirancang khusus untuk memahami secara mendalam mengenai proses yang terlibat dalam penyelesaian dari simulasi *static* yang sedang dijalankan. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, berikut ini disajikan beberapa tahapan utama yang perlu dilalui selama proses simulasi tersebut :

### Fase Persiapan

Di awal proses ini, ada sebuah tahapan penting yang melibatkan pengumpulan berbagai jenis informasi esensial. Langkah ini sangat kritis karena melibatkan akuisisi data yang akurat, yang mencakup desain terperinci dari komponen dalam format 3D, seleksi bahan yang akan digunakan berdasarkan sifat mekaniknya, penetapan geometri yang akan tetap tidak berubah sepanjang proses, aplikasi beban yang tepat sesuai dengan skenario operasional yang diperkirakan, serta eksekusi pembuatan jaring atau kontrol *mesh* yang memungkinkan model 3D tersebut untuk dianalisis secara komputasional.

### Fase Komputasi

Selama tahap komputasi, komputer berperan aktif dalam menjalankan serangkaian perhitungan kompleks. Tujuannya adalah untuk mendapatkan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan dari serangkaian simulasi *static*, yang dilakukan dengan memanipulasi ukuran kontrol mesh yang bervariasi.

Ukuran kontrol *mesh* yang berbeda-beda ini dipilih secara strategis untuk diuji sebagai variabel pembanding yang akan menjamin validitas, dan keakuratan hasil yang diperoleh.

### Fase Penyajian Hasil

Pada akhir dari proses simulasi *static*, kemudian memasuki tahap final yang disebut fase penyajian hasil. Di sini, hasil-hasil simulasi ditampilkan secara rinci, termasuk data-data kritis seperti tegangan *von Mises* dan *factor of safety* yang terjadi pada setiap komponen transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis selama proses simulasi static. Fase ini tidak hanya vital dalam menentukan keberhasilan simulasi tetapi juga dalam mengidentifikasi secara spesifik lokasi-lokasi dimana terjadi tegangan maksimum dan minimum pada komponen tersebut. Selain itu, tahap ini juga mencakup tugas penting lainnya, yaitu membandingkan dan menganalisis data yang diperoleh dari berbagai iterasi yang telah dilakukan sebelumnya, yang memberikan wawasan tambahan tentang performa dan keandalan dari komponen yang disimulasikan.

## Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian

### Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal, yang beralamat di Jalan Halmahera KM.01, Mintaragen, Kota Tegal, Jawa Tengah.

### Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu dari bulan Februari 2024 hingga Januari 2025. Penelitian ini melibatkan beberapa tahap, termasuk proses penelitian, perancangan desain, pengambilan data, serta analisis data.

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tahapan Kegiatan | Bulan Ke- | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. | Persiapan Penelitian | | | | | | | | | | | | |
|  | a. Mencari Literatur |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | b. Studi Literatur |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | c. Penyusunan Proposal |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | d. Persiapan Alat dan Bahan |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2. | Tahap Pelaksanaan | | | | | | | | | | | | |
|  | a. Seminar Proposal |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | b. Pembuatan Alat |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | c. Pengujian Alat |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3. | Data dan Laporan Akhir | | | | | | | | | | | | |
|  | a. Pengolahan Data |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | b. Pembahasan |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | c. Penyusunan Laporan |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | d. Ujian Skripsi |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Instrumen Penelitian

### *Software*

#### SolidWorks Premium 2023

SolidWorks Premium 2023 adalah versi lanjutan dari perangkat lunak desain asistensi komputer (CAD) dan analisis rekayasa yang dikembangkan oleh *Dassault Systèmes*. Ini menyediakan berbagai alat untuk desain 3D, simulasi, manajemen data produk, dan analisis produk yang membantu desainer dalam mengembangkan produk yang lebih kompleks dan efisien.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Gambar 3.1 Solidworks premium 2023

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2024)

#### Repetier-Host

Repetier-Host adalah versi dari perangkat lunak yang dirancang untuk digunakan dalam pencetakan 3D. Perangkat lunak ini bertindak sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol printer 3D dan mengelola proses pencetakan dari komputer. Repetier-Host menyediakan berbagai fitur yang membantu pengguna untuk mempersiapkan file model 3D untuk dicetak, serta mengelola dan mengawasi pencetakan secara langsung.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Gambar 3.2 Repetier-Host V2.3.2

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2024)

### *Hardware*

#### Laptop

Laptop merupakan salah satu *platform* yang digunakan untuk menjalankan perangkat lunak (seperti *Software* SolidWorks) agar memungkinkan pelaksanaan simulasi dan analisis data dari penelitian yang sedang dilakukan. Laptop yang digunakan untuk penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Processor : Intel(R) Core(TM) i3-1005G1 CPU @ 1.20GHz

**Memori (RAM)** : 8GB DDR4 RAM

**Penyimpanan** : SSD 256GB

**Grafis** : Integrated Intel UHD Graphics

A computer on a table

Description automatically generated

Gambar 3.3 Laptop pribadi

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2024)

#### Printer 3D *Fused Deposition Modeling* (FDM)

*Fused Deposition Modeling* (FDM) beroperasi dengan melelehkan plastik, kemudian mengekstrusikannya melalui nosel secara terkontrol untuk membentuk objek 3D secara bertahap, lapis demi lapis. Teknologi ini memiliki keunggulan berupa biaya yang terjangkau dan kemudahan penggunaan, meskipun resolusinya masih tergolong standar.

A machine with a screen and wires

Description automatically generated with medium confidence

Gambar 3.4 Printer 3D FDM

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2024)

## Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan karakteristik, sifat, atau nilai yang dimiliki oleh individu, objek, atau aktivitas yang mengalami variasi tertentu dan ditentukan oleh peneliti untuk dikaji serta dianalisis guna memperoleh kesimpulan. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis variabel yang digunakan, yaitu :

### Variabel Bebas

Variabel independen (variabel bebas) merupakan variabel yang memengaruhi atau menjadi penyebab perubahan serta munculnya variabel dependen (terikat) (Sugioyono, 2013) Jadi variabel ini sifatnya menerangkan dan mempengaruhi variabel lain yang tidak bebas. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu berupa perhitungan pembebanan pada komponen transmisi penggulung filamen yang dilakukan analisis seperti poros, roda gigi *input*, roda *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output*.

### Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi hasil dari perubahan yang terjadi pada variabel bebas (Sugioyono, 2013). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil simulasi *static* pada setiap komponen transmisi penggulung filamen seperti poros, roda gigi *input*, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output* ketika diberikan variasi kontrol mesh pada setiap permukaan yang terkena pembebanan dan diberikan nilai pembebanan pada setiap komponen yang dianalisis terhadap hasil nilai tegangan *von Mises* dan *factor of safety* pada setiap komponen transmisi penggulung filamen.

## Metode Pengumpulan Data

### Studi Pustaka

Studi pustaka adalah bagian penting yang menelaah dan mengkaji literatur yang telah ada terkait dengan topik penelitian yang akan dilakukan. Studi pustaka ini berfungsi untuk memberikan dasar teoritis, menunjukkan celah penelitian yang ada, serta membantu dalam merumuskan hipotesis dan pertanyaan penelitian yang lebih terarah. Proses ini melibatkan pengumpulan, analisis, dan sintesis informasi dari berbagai sumber yang relevan untuk mendukung argumen atau ide dalam penulisan penelitian ini.

### Eksperimental

Melalukan pengamatan secara langsung pada mesin *putrusion* ketika proses pembuatan dan penggulungan filamen *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada *stepper* motor kecepatan tertinggi yaitu pada kecepatan 9, untuk mengetahui hasil variasi lebar sayatan botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET), untuk mengetahui berapa kecepatan RPM roda gigi *output*, untuk mengetahui pajang filamen (cm), untuk mengetahui berat filamen (kg), dan untuk mengetahui diameter filamen (mm) yang dihasilkan.

### Simulasi

Pada penelitian ini yaitu mendesain setiap komponen transmisi penggulung filamen, kemudian dilakukan analisis menggunakan simulasi *static* dengan memakai tegangan *von Mises* dan *factor of safety* terhadap pengaruh variasi kontrol *mesh* pada area yang terkena pembebanan pada setiap komponen transmisi penggulung filamen seperti poros, roda gigi *input*, roda gigi *compound* 1, roda gigi *compound* 2, dan roda gigi *output*.

## Desain Perancangan

Desain merupakan proses perencanaan atau perancangan yang mencakup pembuatan objek, sistem, komponen, atau struktur dengan tujuan spesifik. Dibawah ini merupakan desain perancangan mesin *pultrusion* pembuat filamen *polyethylene terephthalate* (PET) sebagai berikut :

A machine with gears and wheels

Description automatically generated with medium confidenceGambar 3.5 Mesin pultrusion pembuat filamen PET

(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2025)

Nama komponen :

1. Papan penyangga.
2. Penyayat botol plastik.
3. Penjepit sayatan plastik.
4. Sensor.
5. Penahan filamen.
6. *Stepper* motor nema 17.
7. Roda gigi *input*.
8. Roda gigi *compound* 1.
9. Roda gigi *compound* 2.
10. Kipas.
11. Roda gigi *output*.
12. Gulungan tengah.
13. Penutup spool.
14. Penutup poros.
15. Aluminium *Extrusions* 2020.
16. Poros.
17. Dudukan 2.
18. Penutup kelistrikan.
19. Nosel printer 3D 1,75 mm.
20. *Heatblock*.

## Diagram Alur Penelitian

Mulai

Studi Literatur

Mendesain poros dan transmisi roda gigi

Perhitungan pembebanan pada poros dan transmisi roda gigi

Tegangan *von Mises* dan *factor of safety* poros dan transmisi roda gigi

A black text on a white background

Description automatically generated

A black letter with a white background

Description automatically generated

Hasil ?

Hasil tegangan *von Mises* dan *factor of safety* pada poros dan transmisi roda gigi

Selesai

Gambar 3.6 Diagram alur tahap penelitian

# 